

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Konstrukční návrh dvoukolového robotu určeného  
pro monitorování venkovního prostředí

Engineering Design of Two Wheel Robot Intended  
for Outdoor Environment Monitoring

Student:

Petr Mayer

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Mihola Ph.D.

Ostrava 2012

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Mayer**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R013 Robotika  
Téma: Konstrukční návrh dvoukolového robota určeného pro monitorování  
venkovního prostředí  
Engineering Design of Two Wheel Robot Intended for Outdoor  
Environment Monitoring

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te analýzu současného stavu řešené problematiky.
2. Na základě této analýzy navrhnete možné varianty řešení a proved'te jejich srovnání.
3. Vybranou variantu detailně rozpracujete.
4. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (dle pokynů vyučujícího).

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Kárník, L., Knořlíček, R., Marcinčin, J. N. *Mobilní roboty*. Opava: MÁRFY SLEZSKO, 2000. 210 s. ISBN 80-902746-2-5.
- [2] Schraft, R.F., Volz, H. *Serviceroboter*. Springer – Verlag, Berlin, 1996.
- [3] Kárník, L. *Robotizace v nestrojírenských oborech*. VŠB-TUO, Ostrava, 2000, 66 s. ISBN 80-7078-739-2.
- [4] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [5] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milan Mihola**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

  
prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: .....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....  
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Petr Mayer

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Valachův Žleb 4891  
760 05 Zlín 5

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

MAYER, P. *Konstrukční návrh dvoukolového robotu určeného pro monitorování venkovního prostředí : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB– Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2012, 62 s. Vedoucí práce: Mihola, M.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem dvoukolového robotu. V úvodu je nastíněna problematika a historie robotiky a jsou vysvětleny důležité pojmy. Dále jsou zhotoveny varianty řešení dvoukolového robotu. Varianty řešení jsou provedeny jako koncepty, nikoliv jako hotové modely. Z těchto variant je proveden výběr optimální varianty. Následně je pak rozvedena konstrukce této optimální varianty a jsou provedeny návrhové výpočty pohonů robotu a kapacity jeho baterií. V závěru je zvoleno elektronické vybavení robotu pro řízení a senzorka. Nakonec je provedena cenová kalkulace. Výpočty jsou uskutečněny pomocí programu Mathcad 14, výkresy jsou zhotoveny v programu AutoCAD 2012 a model dvoukolového robotu je vypracován v DS SolidWorks 2009.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

MAYER, P. *Engineeting Design of Two Wheel Robot Intended for Outdoor Environment Monitoring : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of robotics, 2012, 62 p. Thesis head: Mihola, M.

Bachelor thesis deals with the construction design of two-wheel robot. The introduction outlines the issues and the history of robotics and important concepts are explained. Are also made alternative solutions two-wheel robot's. Variants are designed as concepts, not as finished models. Of these variants is made the optimal variant. Subsequently, the elaborated design and the optimal control calculations are performed robots 's drives and his battery capacity. At the end is after thatselected electronic equipment for control and robot sensors. Finally made pricing. Calculations are carried out using Mathcad 14, made drawings in AutoCAD 2012 and two-wheel robot's model is developed in DS SolidWorks 2009.

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Milanu Miholovi Ph.D. za věcné rady a poznámky k zadané práci. Dále pak také rodičům, kteří mě ve studiu podporovali a dali mi cenné rady i k této práci.

## Obsah

0.	Úvod.....	9
1.	Rešerše .....	9
2.	Požadavky na robot.....	14
3.	Varianty řešení .....	14
4.	Výběr optimální varianty .....	20
4.1.	Určení významnosti .....	21
4.2.	Zhodnocení jednotlivých variant .....	23
4.3.	Vítězná varianta .....	29
5.	Výpočet pohonu robotu .....	30
5.1.	Zadání hodnot .....	30
5.2.	Výpočet valivého odporu:.....	31
5.3.	Výpočet vzdušného odporu: .....	31
5.4.	Výpočet odporu stoupání .....	32
5.5.	Výpočet odporu zrychlení.....	32
5.6.	Výpočet potřebného momentu a výkonu pohonu .....	33
6.	Volba a parametry pohonu.....	35
7.	Výpočet spotřeby a volba baterií .....	36
7.1.	Výpočet spotřeby motorů a kapacity baterií .....	37
7.2.	Volba baterií .....	37
8.	Elektronika.....	39
8.1.	Řídící počítač .....	39
8.2.	Systém senzorů pro vyvažování .....	40
8.3.	Kamera.....	40
8.4.	Wi-fi karta.....	41
8.5.	Budiče pro motory .....	41
8.6.	Budiče pro LED svítilny .....	42
8.7.	LED svítilny.....	42
8.8.	Napěťové měniče .....	43
8.9.	Senzory .....	43

9.	Konstrukce a montáž robotu .....	45
9.1.	Původní konstrukce.....	45
9.2.	Nová konstrukce .....	47
9.3.	Parametry robotu.....	52
10.	Cenová kalkulace .....	53
11.	Zhodnocení a závěr .....	54
12.	Použitá literatura .....	55
13.	Seznam příloh .....	57
14.	Seznam obrázků.....	58
15.	Seznam tabulek .....	61
16.	Seznam grafů .....	62



**Seznam použitého značení**

<b>Značení</b>	<b>Název</b>	<b>Jednotka</b>
<b>d</b>	průměr kola	[mm]
<b>v</b>	rychlost	[m/s]
<b>m</b>	hmotnost	[kg]
<b><math>\alpha</math></b>	úhel stoupání	[°]
<b>a</b>	zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
<b>i</b>	počet	[ks]
<b>f<sub>v</sub></b>	koeficient valivého odporu	[-]
<b>f</b>	koeficient tření	[-]
<b>S</b>	plocha	[mm <sup>2</sup> ]
<b>h</b>	výška překážky	[mm]
<b>c<sub>x</sub></b>	součinitel vzdušného odporu	[-]
<b><math>\rho_v</math></b>	měrná hmotnost vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]
<b><math>\vartheta</math></b>	součinitel rotujících částí	[-]
<b><math>\zeta</math></b>	rychlost protivětru	[km/h]
<b>g</b>	tíhové zrychlení (konstanta)	[m/s <sup>2</sup> ]
<b>F<sub>f</sub></b>	valivý odpor	[N]
<b>F<sub>v</sub></b>	vzdušný odpor	[N]
<b>F<sub>s</sub></b>	odpor stoupání	[N]
<b>F<sub>z</sub></b>	odpor zrychlení	[N]
<b>M</b>	točivý moment	[Nm]
<b>P</b>	výkon	[W]
<b>U</b>	napětí	[V]
<b>I</b>	proud	[A]
<b>n</b>	otáčky	[ot/min]
<b><math>\omega</math></b>	úhlová rychlost	[rad/s]

## 0. Úvod

Robotika se jako samostatný obor rozvíjí asi osmdesát let. Počátky vychází z toho, že si člověk začal upravovat výrobu tak, aby vyrobil více produktů za nižší cenu a kratší čas. Začaly tedy vznikat průmyslové roboty. V dnešní době se již průmyslové roboty dále nevyvíjejí, pouze se upravují stávající konstrukce. V současnosti se ale konstruují servisní roboty, kdy velice často je každý robot originálním výrobkem a má originální konstrukci a řeší různé servisní úlohy.

Stejně tak je i tato bakalářská práce zaměřena na konstrukční návrh servisního robotu, konkrétně na dvoukolový robot pro monitorování venkovního prostředí. Součástí řešení je návrh variant a výběr optimální varianty pro požadovanou úlohu. Dále je stanoven pohon, elektronický a kamerový subsystém robotu. Práce je řešena tak, aby konstrukce robotu byla co nejjednodušší i s ohledem na cenu, ale přitom splnila veškeré zadané podmínky.

## 1. Rešerše

Základní pojmy týkající se této práce jsou robot, robotika, průmyslový robot, servisní robot, gyroskop, dvoukolový robot (balancující robot). Je tedy vhodné tyto pojmy blíže objasnit.

Robot. Toto slovo poprvé použil český novinář, dramaturg a spisovatel Karel Čapek ve své hře R.U.R (Rossum's Universal Robots - "Rosumovi" universální roboti) ve 20-tých letech minulého století. Čapek si ale robota představoval jinak než my, a to jako stroj, co vypadá lidsky. Dnes bychom nejspíše řekli humanoid. Pravda je ale ta, že dnes si robot představujeme spíše jako stroj vykonávající práci místo člověka, a to hlavně v průmyslu, kde se používá nejvíce robotů. Existují také roboty, které se nepoužívají v průmyslu a dělají práci místo člověka. Jsou to roboty nasazované tam, kde je například nebezpečné prostředí nebo kde by se člověk nemohl pohybovat. Mám na mysli servisní roboty, které mají prakticky neomezené možnosti, co se týče vývoje, konstrukce a využití.

Jednotná definice robota v současné době neexistuje. Různí autoři a různé instituty uvádějí odlišné definice. Obecně pro roboty se uvádí tři výstižné definice. První je od Australian Robotics and Automation Association a říká: "Sice neexistuje standardní definice, ale lze vyjádřit tři podstatné charakteristiky robota: umožňuje nějakou formu mobility, může být naprogramován k velmi variabilním úkolům, po naprogramování již pracuje v automatickém režimu." [1] Druhou definici vykládá americký institut pro robotiku (Robotic Industries Association), který definuje robot jako "přeprogramovatelný vícefunkční manipulátor určený k přemísťování materiálu, součástek, nástrojů nebo specializovaných přístrojů pomocí různě naprogramovaných pohybů za účelem provádění různých úkolů. Tento institut přitom rozděluje roboty do následujících čtyř tříd: manipulační zařízení s ručním řízením, automatické manipulační zařízení s předem určenými cykly, programovatelné, řízené servoroboty pohybující se od bodu k bodu po spojitě trajektorii, roboty odpovídající specifikacím předchozího typu, které k inteligentnímu pohybu rovněž vyžadují informace z prostředí." [2]

Třetí definice: "Japonské robotické sdružení (Japan Robot Association), založené v roce 1971, naproti tomu člení roboty do šesti tříd: ruční manipulační zařízení uváděné do chodu operátorem, robot s pevnou sekvencí, robot s proměnlivou sekvencí snadno měnitelnou řídicí sekvencí, přehrávací robot (playback), který může zaznamenat pohyb pro pozdější opakování, číslicově řízený robot s pohybovým programem a ručním ovládáním, inteligentní robot, který rozumí prostředí a je schopen dokončit úkol navzdory změnám v provozních podmínkách." [2]

Pro definici průmyslových robotů jsem vybral pouze jednu, a to od "International Organisation for Standardisation (ISO 8373 Manipulační průmyslové roboty – Slovník) pro roboty činné ve výrobě: Průmyslový robot je automaticky řízený, reprogramovatelný, víceúčelový manipulační stroj, stacionární nebo umístěný na pojezdu, určený k použití v průmyslové automatizaci." [1]

Robotika jako věda vznikla mezi dvacátými a třicátými léty dvacátého století. Je to tedy poměrně mladá věda, ale přinesla již spoustu poznatků, výrobků a hlavně zjednodušení výrobního procesu.

V podstatě můžeme říci, co se průmyslové robotiky týče, už je téměř vše vymyšlené a pouze se upravují detaily. Konstruují se nové efekторы, ale vývoj samotných robotů už nejspíše nebude nijak závatný. Průmyslové roboty se v továrnách používají už desetiletí a zavedené struktury robotů se používají dodnes pouze s malou modernizací. Samozřejmě i robot jako každý jiný stroj se opotřebovává a časem se bude muset v provozu vyměnit za nový.

Častěji se dnes ale vymýšlí a konstruují servisní roboty. Jedním z takových servisních robotů je i dvoukolový robot. Existují různé systémy kontroly polohy robotu. Například pomocí světelného (optického) paprsku, kdy systém snímá vzdálenost od povrchu země a vyhodnocuje ji. Další možnost jak robota řídit je pomocí impulsů vysílaných gyroskopy. "Gyroskop je zařízení určené k navigaci a určování směru. Princip gyroskopu je znám od roku 1817, kdy jej objevil Johann Bohnenberger. Jako konstruktér gyroskopu je však označován až Léon Foucault, který na skutečném modelu předváděl v roce 1852 rotaci Země." [9]

"Gyroskop je setrvačnický, v podstatě kolo (nejlépe však prstenec, který má co největší část svoji hmoty co nejdále od svého středu) otáčející se v ložiscích s nepatrným třením. Otáčející se setrvačnický má velký moment hybnosti, takže jeho osa bez působení vnějších sil udržuje stále stejný směr – je to tedy zařízení, které dokáže určit svoji orientaci v prostoru (setrvačnický nemění při rotaci svou polohu a tím dává informaci o orientaci dopravního prostředku v prostoru). Obvykle je setrvačnický uložen v tzv. Cardanových závěsech, má 3 stupně volnosti." [9]

Dvoukolové roboty zasahují do mnoha oborů a zájmů. Počínaje roboty pro nasazování do nebezpečných situací, například pro policii, armádu či hasiče přes roboty sloužící k dopravě osob nebo předmětů, až po roboty sestavené pro zábavu. Proto nemůžeme jednoznačně určit universální konstrukci těchto robotů. Je ale již podle názvu jasné, že základem robotů bude podvozek se dvěma koly a systém vyvažující robot tak, aby se dokázal pohybovat bez přepadávání.



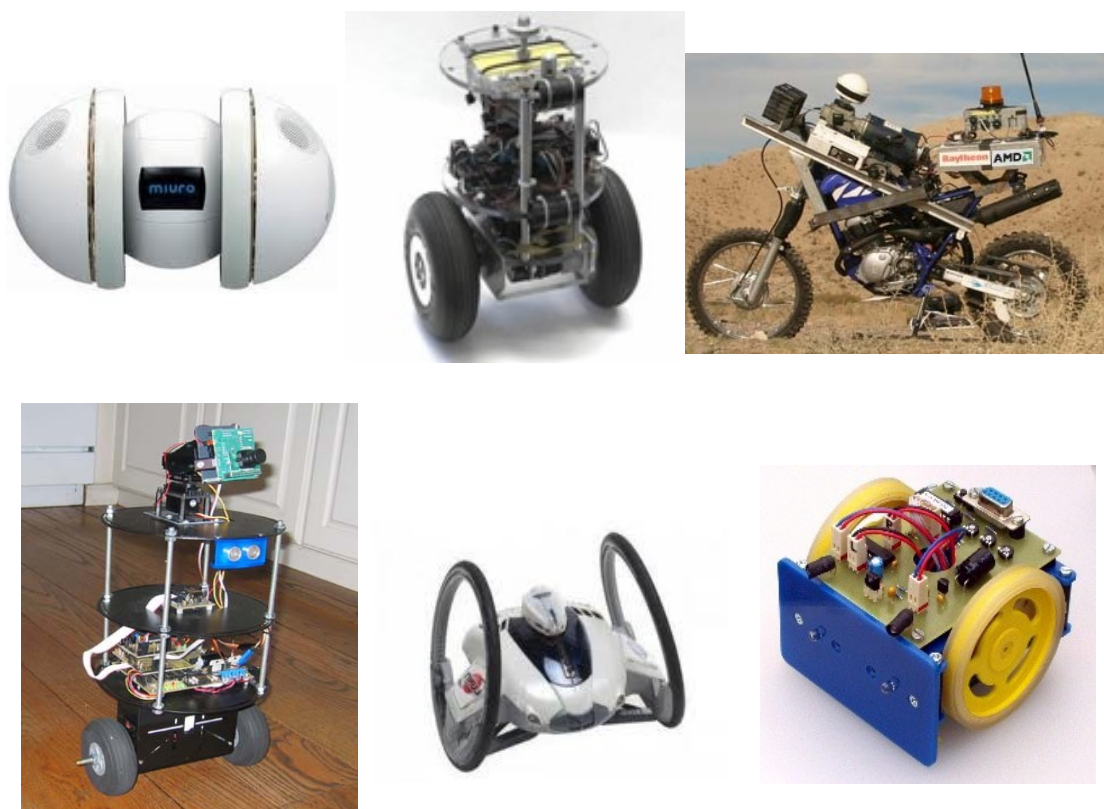
obrázek 1.1 - segway

V oblasti dopravy je asi nejznámější „robot“ od firmy Segway (viz *obrázek 1.1*). Toto vozítko je určeno pro přepravu jednoho člověka a při jízdě na něm řidič stojí. Samotný název byl inspirován slovem segue, což znamená něco jako plynulý přechod. Robot je řízen pohyby, respektive náklony řidiče na různé strany. Aby nedošlo k přepadnutí na některou stranu, segway automaticky udržuje stabilitu pomocí impulsů vysílaných gyroskopy stokrát za sekundu. Segway má pět gyroskopů.

I když by bohatě stačily tři gyroskopy pro sledování pohybu, má ještě dva navíc pro přesnější informace polohy, ale také slouží jako rezervní při výpadku hlavních gyroskopů. Segway dokáže jet rychlostí až 20km/h a na baterie, které jsou s ním dodávány

Další dvoukolové roboty využívají, jak už bylo naznačeno, například bezpečnostní složky. Tyto roboty jsou řízeny člověkem na dálkové ovládání, ale mohou být i částečně autonomní. Většinou jsou doplněny o periferie podle toho, k čemu je daný robot určen. To znamená různé kamery, senzory teploty, vlhkosti nebo radiace. Robot může být vybaven i ramenem a efektozem, aby mohl uchopit předmět nebo technologickou hlavici, aby mohl například i něco svařit. Bezpečnostní složky používají také roboty pro zneškodňování náloží. Většinou je pro tyto případy robot vybaven vodním paprskem nebo zbraní, kterou bombu odstřelí a zneškodní.

V neposlední řadě se vymýšlí roboty pro zábavu, kdy si "domácí" konstruktéři a vůbec lidé zabývající se těmito roboty, skládají roboty doma nebo ve škole. Dokonce jsou i soutěže například ve fotbale, kdy tým robotů hraje proti jinému týmu robotů fotbal bez jakéhokoliv zásahu člověka. Robot tedy musí kromě udržování stability také ještě vyhodnocovat určité situace a patřičně na ně reagovat.



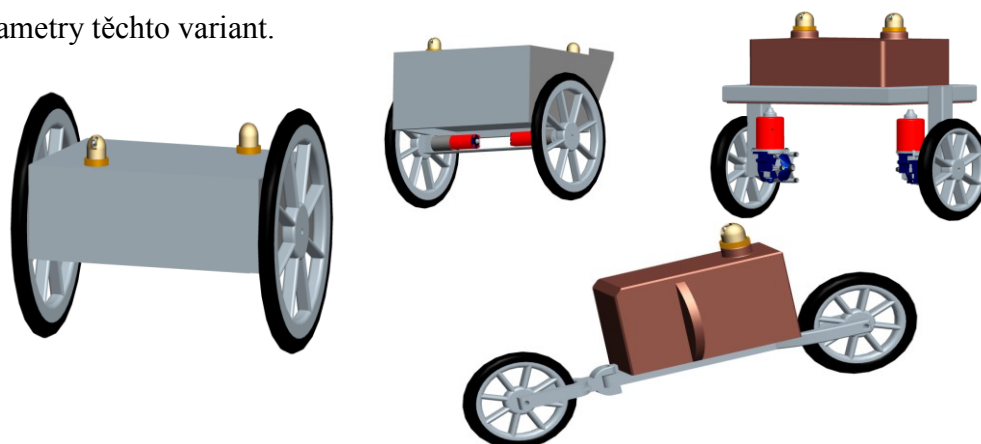
obrázek 1.2 - příklady konstrukcí dvoukolových robotů

## 2. Požadavky na robot

Navrhnete dvoukolový robot. Robot bude určen pro monitorování venkovního okolí. Převážně ve městě, ale i v lehkém terénu. Robot bude řízen pomocí ručního ovladače. Robot bude schopen jezdit ve městě po chodníku, ze kterého bude moci sjet nebo seskočit přes patník a opět na něj najet v místě snížení patníku, (například vjezd pro auta, snížení chodníku na přechodu). Není požadavek pro jízdu do schodů. V terénu musí zdolat menší kameny nebo trčící kořeny. Terén se bude monitorovat pomocí kamery. Společně s obrazem bude robot přenášet také teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu a škodlivé látky v ovzduší. Robot musí být snadno přemístitelný a musí projet menšími prostory, například i úzkými dveřmi (nejmenší rozměr dveří je 60cm). Výdrž jízdy robotu společně s monitorováním musí být více než jedna hodina. (s rezervou bezpečného dojezdu). Musí odolávat nejenom po stránce stability, ale musí být odolný např. i proti oděru nebo podobnému poškození, vniknutí prachu, kapek vody nebo jiných nečistot. Zohledněna musí být i cena, váha a snadná montáž.

## 3. Varianty řešení

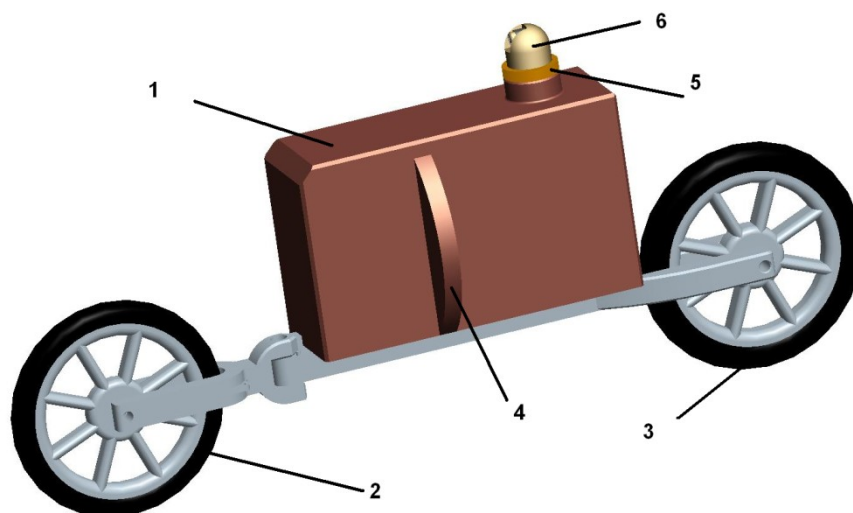
Varianty řešení jsou provedeny proto, aby se z více možností návrhů vybral jeden nejlepší pro danou aplikaci. V tomto případě jsou zpracovány do konceptu čtyři návrhy variant řešení (viz obrázek 3.1). Jedná se o pouhé koncepty, to znamená, že modely nejsou propracované, ale mají pouze nástin konstrukčního řešení a je k nim navržen vhodný pohon. Jednotlivé varianty jsou stručně popsány a jsou vypracovány předběžné parametry těchto variant.



obrázek 3.1 - varianty řešení

### **1. Varianta**

Tato koncepce dvoukolového robotu (*viz obrázek 3.2*) je spíše pro rychlejší jízdu bez prudké změny směru. Robot bude poháněn diskovým elektromotorem. Šířka robotu se pohybuje okolo 20cm a výška včetně kamery okolo 35cm. Robot pak bude dlouhý asi 50cm. Výhodou tohoto řešení je to, že při vyšších rychlostech se snadněji udržuje stabilita a robot může být poměrně malý. Dále je pak použit pouze jeden motor k pohonu robotu a jednoduché servo na řízení předního kola. Nevýhodou je však poloměr otáčení robotu nebo neschopnost úplného otočení na místě. Natočení předního kola je 30° na každou stranu. Robot se pak ještě hůře pohybuje pozpátku.



*obrázek 3.2 - první varianta*

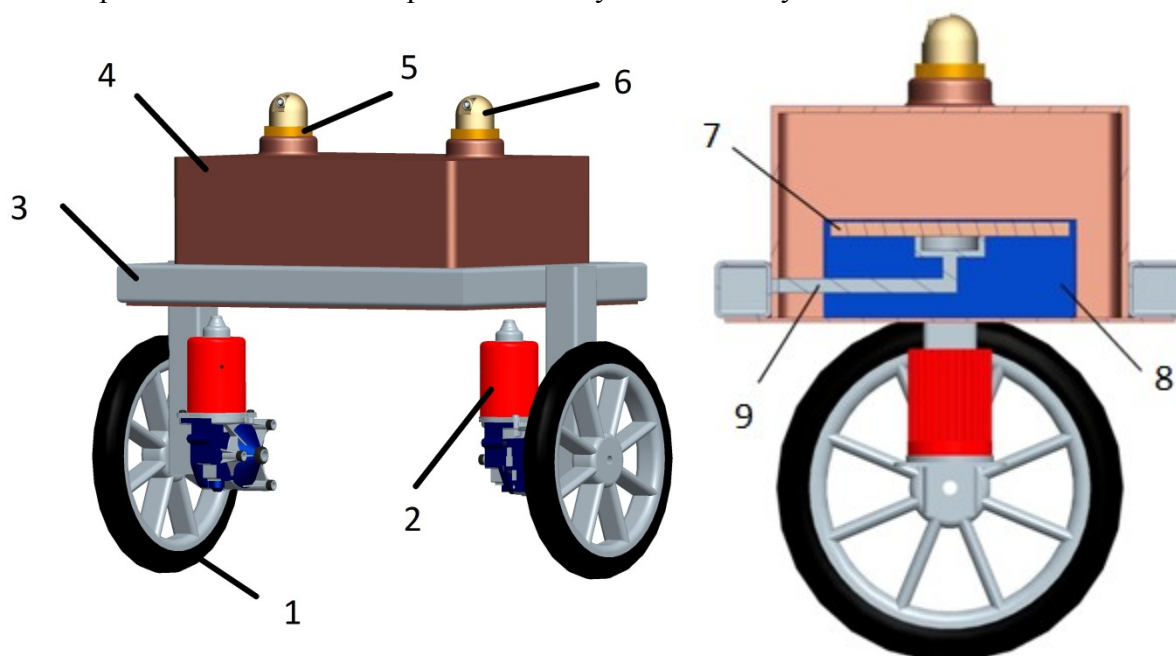
#### **Popis robotu (bez rámu a přední vidlice):**

1. Krycí skříň - elektroniky, setrvačníku, pohonu pro setrvačnick a pohonu pro otáčení kamery, senzorů pro měření, baterií
2. Přední otočné kolo
3. Zadní hnací kolo
4. Prolis pro setrvačnick (lze z něj poznat polohu setrvačníku)
5. Otočný stojan pro kameru
6. Kamera



## 2. Varianta

Koncepce tohoto robotu (viz *obrázek 3.3*) je známější než předchozí. Jde o uspořádání s koly v jedné ose otáčení. Tento robot je stabilnější i při pomalých rychlostech či stání. Oproti předchozímu je ale robot o něco větší. Šířka je 57cm, výška včetně kamer 42cm a délka (hloubka) je 34cm. Výhodou tohoto robotu, jak už bylo naznačeno, je jeho pohyblivost. Dokáže se otočit na místě a zatočit může o libovolný stupeň. Vyvýšení plochy nad podvozkem umožňuje lepší sjízdnost terénu, či lepší přejetí překážek. Mezi nevýhody patří jeho o něco větší rozměry, použití dvou motorů na pohon a také vysoko umístěný setrvačnick.



*obrázek 3.3 - druhá varianta*

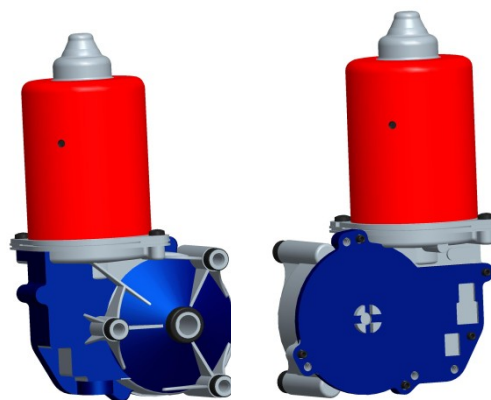
### Popis robotu:

1. Kolo (2x)
2. Pohon robotu (2x)
3. Rám robotu
4. Krycí skříň (elektroniky, senzorů, pohonu pro kamery, baterii)
5. Otočný stojan pro kameru (2x)
6. Kamera (2x)
7. Setrvačnick
8. Kryt setrvačnicku
9. Nosník setrvačnicku

Pohon robota:

2x motor Valeo 404 885

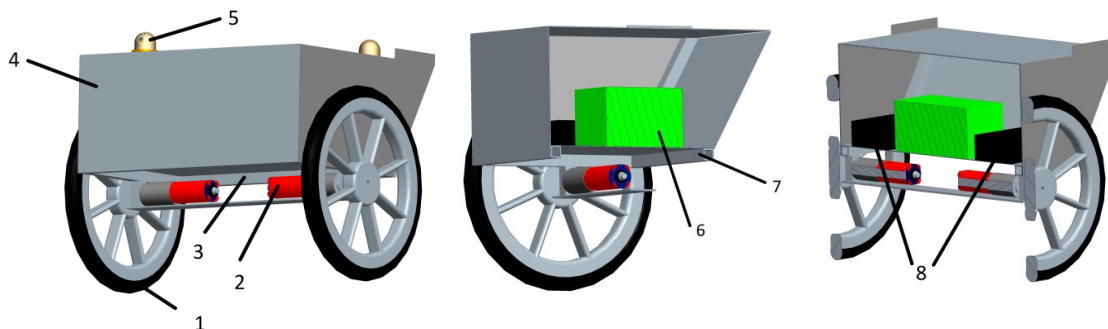
Motor (viz obrázek 3.4) je na 24V stejnosměrných. Krouticí moment 5 N·m. Je dodáván s převodovkou s poměrem 63/1. Detaily viz níže. Energie může být dodávána pomocí 20ti tužkových baterek, popřípadě 3mi plochými baterkami na 12V nebo adaptérem.



obrázek 3.4 - motor valeo 404855

**3. Varianta**

Vzhled robota (viz obrázek 3.5) je podobný konstrukci předchozí varianty s menšími změnami. Kola nejsou tak vyvýšená, tím pádem se snížila výška těžiště, což je pro dvoukolový robot žádoucí. Zároveň se ale zhoršila průjezdnost. Proto má robot větší kola a zad' robota je zkosená, aby se při přejezdu překážky nepřevrátil, (převrácení, respektive ztráta stability by mohla být způsobena nárazem zadní části robota do hrany přejížděného předmětu). I osa kol je posunuta směrem k zadní části robota. Uložení motorů robota je také jiné. Osa otáčení motoru je v ose otáčení kola, takže nepotřebujeme při převodu kuželová ozubená kola a převodovka motoru je pak menší. Navíc toto uložení zabere méně místa. Parametry robota jsou: šířka je 58cm, výška bez kamer 40cm a délka (hloubka) včetně zkosení je 45cm.



obrázek 3.5 - třetí varianta

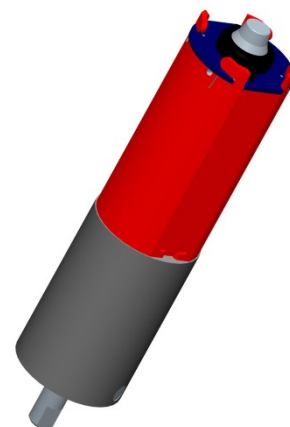
Popis robotu:

1. Kolo (2x)
2. Pohon robotu (2x)
3. Rám robotu
4. Krycí skříň (elektroniky, senzorů, pohonu pro kamery, baterii)
5. Kamera (2x)
6. Senzorová skříň (gyroskopy, nádobka s tekutinou...)
7. Rám robotu
8. Nosník setrvačníku

Pohon robotu:

2x motor Valeo 404 722

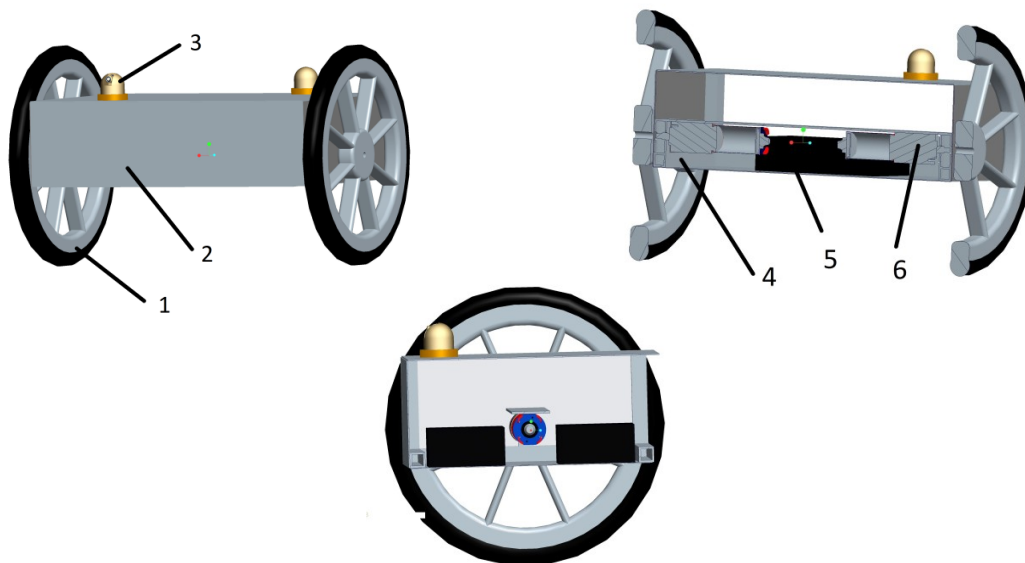
Motor (viz obrázek 3.6) je na 24V stejnosměrných. Krouticí moment 4 N·m. Je dodáván s převodovkou s poměrem 39,7/1. Detaily viz níže. Energie může být dodávána pomocí 20ti tužkových baterek, popřípadě 3mi plochými baterkami na 12V nebo adaptérem.



obrázek 3.6 - motor valeo 404722

#### **4. Varianta**

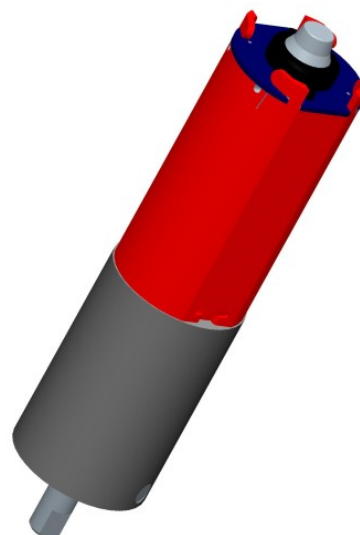
Vzhled robotu (viz obrázek 3.7) je podobný konstrukci předchozí varianty s menšími změnami. Kola nejsou opět tak vysoko jako například u varianty 2, dokonce jsou i níž než u varianty 3. Je to dáno tím, že robot nemá žádný vyvažovací systém a těžiště celého robotu musí být pod osou kol. Průjezdnost robotu je zajišťována velkými koly. Výhodou tohoto řešení je zbavení se drahého řídicího systému, robot je menší, lehčí a levnější. Naopak je složitější na výrobu, protože těžiště musí být přesně pod osou a co se týče stability, je na tom robot hůř, jelikož hrozí při rychlém najetí na překážku, rozjezdu či brzdění ztráta stability. Osa otáčení motoru je v ose otáčení kola jako u varianty 3. Baterie jsou pak umístěny pod osou kol. Parametry robotu jsou: šířka je 52cm, výška bez kamer 35cm a délka (hloubka) včetně zkosení je 30cm.



obrázek 3.7 - čtvrtá varianta

Popis robotu:

1. Kolo (2x)
2. Krycí skříň
3. Kamera (2x)
4. Rám robotu
5. Baterie (2x)
6. Motor (2x)

Pohon robotu:

2x motor Valeo 404 722

Motor je na 24V stejnosměrných. Kroutící moment 4 N·m. Je dodáván s převodovkou s poměrem 39,7/1. Detaily viz níže. Energie může být dodávána pomocí 20ti tužkových baterek, popřípadě 3mi plochými baterkami na 12V nebo adaptérem. U této varianty se předpokládalo to, že nebude zapotřebí použít vyvažovací systém, ale po konzultaci se ukázalo, že kvůli rozjezdu a brzdění i zde bude muset být použit vyvažovací systém. I tento fakt je promítnut do výběru optimální varianty.

#### 4. Výběr optimální varianty

Je to metoda, podle které určíme, která varianta řešení je podle požadavků optimální. Zvolíme si kritéria hodnocení a stupnici, podle které budeme hodnotit. Variantám pak podle jednotlivých kritérií přiřadíme hodnotu. Stanovíme si vážený průměr těchto hodnot a porovnáme varianty. Poté vybereme optimální variantu.

Stupnice hodnocení variant:

0	Naprosto nepříznivé
1	Spíše nepříznivé hodnocení
2	Lehce podprůměrné
3	Průměrná hodnota
4	Lehce nadprůměrné
5	Velice příznivé
6	Nejlepší v tomto ohledu

*tabulka 4.1 - stupnice hodnocení*

Hlediska Posuzování:

Číslo hlediska posuzování	Hledisko posuzování	Popis hlediska
1	Cena	Celková cena - materiál, software, montáž
2	Průjezdnost	Celková výška nad zemí, šířka a výška mezi zemí a spodním krytem
3	Stabilita	Schopnost udržet se v požadované
4	Výdrž	Dojezd a doba monitorování
5	Hmotnost	Celková hmotnost včetně baterií a řízení
6	Konstrukce	Obtížnost z hlediska vyrobitelnosti a montáže
7	Ovladatelnost	Schopnost měnit směr a rychlost zastavení
8	Rychlost	Maximální rychlost pro bezpečné ovládání
9	Skladnost	Do jakého prostoru se dá složit a za jak dlouho

*tabulka 4.2 - hlediska posuzování*

	Hled. 1	Hled. 2	Hled. 3	Hled. 4	Hled. 5	Hled. 6	Hled. 7	Hled. 8	Hled. 9
Varianta 1	4	4	2	4	5	2	2	3	4
Varianta 2	3	6	4	5	3	4	5	5	6
Varianta 3	4	5	5	5	4	4	5	5	6
Varianta 4	4	4	5	6	5	5	4	6	5

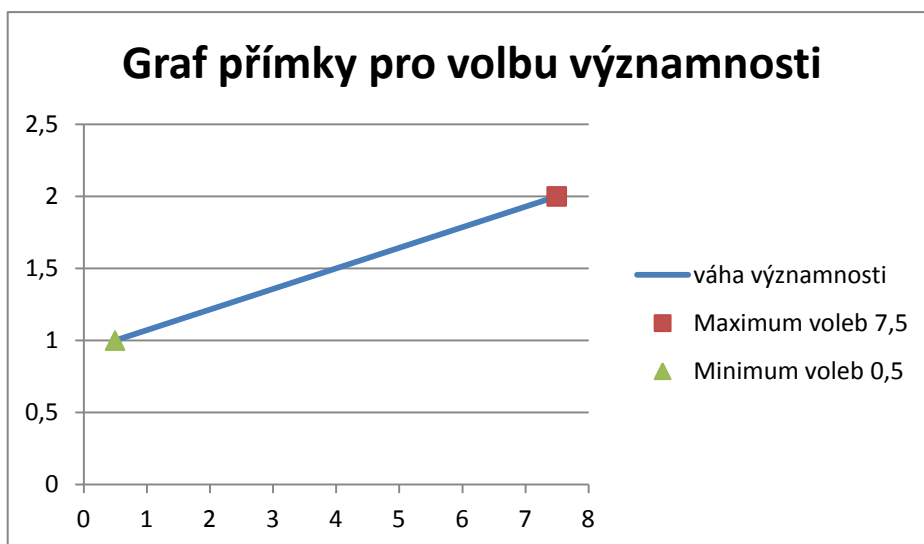
*tabulka 4.3 - hodnocení variant*

Pro určení váhy významnosti jsem zvolil hodnotovou analýzu pomocí metody porovnávání trojúhelníku párů. Zvolíme kritéria, která mají největší význam a porovnáváme je spolu. Na základě četnosti výběru daného kritéria stanovíme váhu významnosti.

Porovnávání hlediska								Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1	6	2	1,79
H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	7,5	1	2,00
H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	7,5	1	2,00
H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9		7,5	1	2,00
H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9		4	3	1,50
H4	H5	H6	H7	H8	H9			3	4	1,36
H4	H5	H6	H7	H8	H9			2,5	5	1,29
H5	H6	H7	H8	H9				2,5	5	1,29
H6	H7	H8	H9					0,5	6	1,00
H7	H8	H9						0,5	6	1,00

tabulka 4.4 - určení významnosti podle trojúhelníku párů

Určení hodnoty váhy významnosti se provádí pomocí grafu. Jako graf zvolíme přímku a největší váze významnosti bude přidělena hodnota 2 a nejmenší hodnota 1. Z těchto hodnot určíme rovnici přímky a dopočítáme ostatní hodnoty. Přímku zobrazuje graf 4.1.



graf 4.1 - graf přímky pro váhu významnosti

Výpočet rovnice přímky zobrazené v grafu 4.1.

Rovnice přímky (analyticky):

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \cdot (x - x_1) \quad - \text{za } x_1, x_2, y_1, y_2 \text{ dosadíme krajní body}$$

Po dosazení pak dostaneme tuto rovnici:

$$y - 1 = \frac{2-1}{7,5-0,5} \cdot (x - 0,5)$$

$$y = \frac{1}{7}x + \frac{13}{14}$$

-kde za hodnotu "x" budeme postupně dosazovat počet voleb

př.: - první hledisko

počet voleb tohoto hlediska je šest

$$x = 6$$

$$y = \frac{1}{7}6 + \frac{13}{14} = \frac{25}{14} = \underline{1,79}$$

Váha významnosti tohoto hlediska je tedy 1,79 na stupnici od jedné do dvou.

#### 4.2. Zhodnocení jednotlivých variant

Varianta 1:

Hledisko	<b>Varianta 1</b>			
	Hodnota	Váha významnosti	Index změny	Vážený index hlediska
H1	4	1,79	4	7,14
H2	4	2,00	4	8,00
H3	2	2,00	2	4,00
H4	4	1,50	4	6,00
H5	5	1,36	5	6,79
H6	2	1,29	2	2,57
H7	2	1,29	2	2,57
H8	3	1,00	3	3,00
H9	4	1,00	4	4,00
Celkový součet vážených indexů varianty 1				<b>44,07</b>

*tabulka 4.5 - hodnocení první varianty*



Varianta 2:

Hledisko	<b>Varianta 2</b>			
	Hodnota	Váha významnosti	Index změny	Vážený index hlediska
H1	3	1,79	3	5,36
H2	6	2,00	6	12,00
H3	4	2,00	4	8,00
H4	5	1,50	5	7,50
H5	3	1,36	3	4,07
H6	4	1,29	4	5,14
H7	5	1,29	5	6,43
H8	5	1,00	5	5,00
H9	6	1,00	6	6,00
Celkový součet vážených indexů varianty 2				<b>59,50</b>

tabulka 4.6 - hodnocení druhé varianty

Varianta 3:

Hledisko	<b>Varianta 3</b>			
	Hodnota	Váha významnosti	Index změny	Vážený index hlediska
H1	4	1,79	4	7,14
H2	5	2,00	5	10,00
H3	5	2,00	5	10,00
H4	5	1,50	5	7,50
H5	4	1,36	4	5,43
H6	4	1,29	4	5,14
H7	5	1,29	5	6,43
H8	5	1,00	5	5,00
H9	6	1,00	6	6,00
Celkový součet vážených indexů varianty 3				<b>62,64</b>

tabulka 4.7 - hodnocení třetí varianty

- oproti první variantě je zde vidět veliký nárůst celkového váženého indexu a varianty číslo 2 a 3 jsou velice vyrovnané

Varianta 4:

Hledisko	<b>Varianta 4</b>			
	Hodnota	Váha významnosti	Index změny	Vážený index hlediska
H1	4	1,79	4	7,14
H2	4	2,00	4	8,00
H3	5	2,00	5	10,00
H4	6	1,50	6	9,00
H5	5	1,36	5	6,79
H6	5	1,29	5	6,43
H7	4	1,29	4	5,14
H8	6	1,00	6	6,00
H9	5	1,00	5	5,00
Celkový součet vážených indexů varianty 4				<b>63,50</b>

tabulka 4.8 - hodnocení čtvrté varianty

Celkové shrnutí hodnotové analýzy:

Pořadí	Celkový součet vážených indexů	Varianta
1	63,50	4
2	62,64	3
3	59,50	2
4	44,07	1

tabulka 4.9 - výsledek analýzy

Nejvíce bodů celkového váženého indexu získala varianta číslo čtyři.

Ze závěrečného shrnutí je patrné, že první konstrukční varianta není příliš vhodná na řešení požadované problematiky. Druhá varianta je o poznání lepší než první, ale obě dvě předčily varianty tři a čtyři, které jsou mnohem vhodnější. Vidíme, že tyto varianty jsou opravdu vyrovnané a můžeme u těchto dvou variant provést detailnější zhodnocení, s rozsáhlejší stupnicí pro výběr optimální z nich. Případně můžeme použít variantu čtyři, která v hodnotové analýze "vyhrála". Rozhodl jsem se ale provést další analýzu variant tři a čtyři a detailněji je posoudit.

Uvedu zkrácený postup analýzy, který je obdobný jako v předchozí pasáži.

#### Hodnocení variant:

Varianta 4	7	8	9	7	7	7	7	7	8
Varianta 3	6	6	7	7	8	6	8	7	6

*tabulka 4.10 - hodnocení variant*

#### Stupnice hodnocení variant:

0	Naprosto nepříznivé
1	
2	
3	
4	
5	Průměrná hodnota
6	
7	
8	
9	
10	Nejlepší v tomto ohledu

*tabulka 4.11 - stupnice hodnocení*

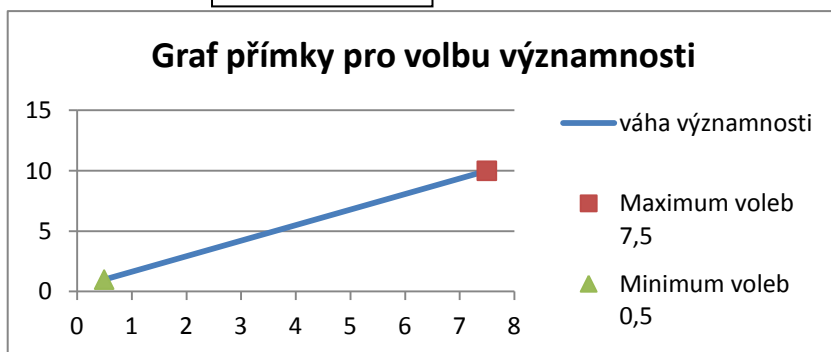
Určení významnosti:

Porovnávaná hlediska	Počet voleb	Pořadí	Váha významnosti
H1 H1 H1 H1 H1 H1 H1 H1 H2 H3 H4 H5 H6 H7 H8 H9	6	2	8,07
H2 H2 H2 H2 H2 H2 H2 H2 H3 H4 H5 H6 H7 H8 H9	7,5	1	10,00
H3 H3 H3 H3 H3 H3 H3 H3 H4 H5 H6 H7 H8 H9	7,5	1	10,00
H4 H4 H4 H4 H4 H4 H4 H4 H5 H6 H7 H8 H9	4	3	5,50
H5 H5 H5 H5 H5 H5 H5 H5 H6 H7 H8 H9	3	4	4,21
H6 H6 H6 H6 H6 H6 H6 H6 H7 H8 H9	2,5	5	3,57
H7 H7 H7 H7 H7 H7 H7 H7 H8 H9	2,5	5	3,57
H8 H8 H8 H8 H8 H8 H8 H8 H9	0,5	6	1,00
H9 H9 H9 H9 H9 H9 H9 H9	0,5	6	1,00

tabulka 4.12 - trojúhelník párů

Rovnice přímky:

$$y = \frac{9}{7}x + \frac{5}{14}$$



graf 4.2 - graf přímky

Varianta 3:

Hledisko	<b>Varianta 3</b>			
	Hodnota	Váha významnosti	Index změny	Vážený index hlediska
H1	6	8,07	6	48,43
H2	6	10,00	6	60,00
H3	7	10,00	7	70,00
H4	7	5,50	7	38,50
H5	8	4,21	8	33,71
H6	6	3,57	6	21,43
H7	8	3,57	8	28,57
H8	7	1,00	7	7,00
H9	6	1,00	6	6,00
Celkový součet vážených indexů varianty 3				<b>313,64</b>

tabulka 4.13 - druhé hodnocení třetí varianty

Varianta 4:

Hledisko	<b>Varianta 4</b>			
	Hodnota	Váha významnosti	Index změny	Vážený index hlediska
H1	7	8,07	7	56,50
H2	8	10,00	8	80,00
H3	9	10,00	9	90,00
H4	7	5,50	7	38,50
H5	7	4,21	7	29,50
H6	7	3,57	7	25,00
H7	7	3,57	7	25,00
H8	7	1,00	7	7,00
H9	8	1,00	8	8,00
Celkový součet vážených indexů varianty 4				<b>359,50</b>

tabulka 4.14 - druhé hodnocení čtvrté varianty

Pořadí	Celkový součet vážených indexů	Varianta
1	359,50	4
2	313,64	3

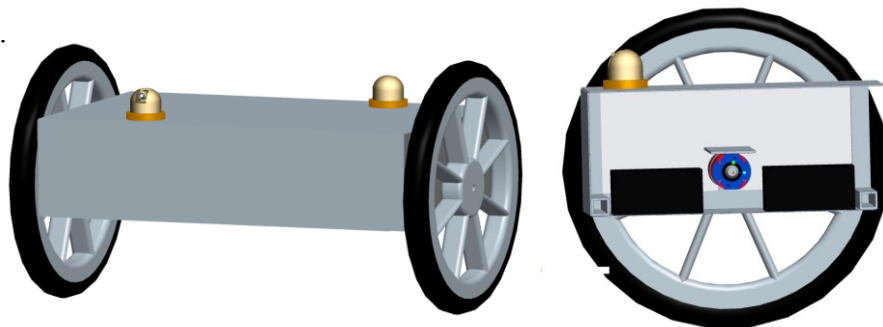
tabulka 4.15 - vítězná varianta

#### 4.3. Vítězná varianta

Hodnotovou analýzu tedy vyhrává konstrukční řešení číslo 4.

#### Popis vítězné varianty

Vítězná varianta je číslo čtyři (viz obrázek 4.1). Tento robot má větší kola pro zdolávání překážek ve městě nebo lehkém terénu. Jeho výhodou je, že konstrukce nepřesahuje obrys kola a je tedy menší pravděpodobnost poškození. Dále pak těžiště robotu bude pod osou kol, což přispěje k lepší celkové stabilitě a ovladatelnosti. Robot bude vybaven gyroskopickými senzory a řídicím procesorem, který bude na základě hodnot podávaných gyroskopy vyhodnocovat polohu a bude posílat impulsy do řídicích můstků pro motory a tím řídit motory. Samozřejmě bude také vyhodnocovat signál, který mu posílá obsluha robotu z dálkového ovladače a bude jej vykonávat společně se signály z gyroskopů. Pohon robotu bude realizován pomocí bezkartáčových elektromotorů s převodovkou na 24V. Robot bude mít baterie i řídicí systém schovaný uvnitř, čímž je zajištěna ochrana proti prachu, nečistotám nebo kapkám vody. Uvnitř budou zabudovány systémy na vyhodnocení teploty, tlaku, vlhkosti nebo oxidu uhelnatého, jejichž senzory budou rozmístěny z vnějšku robotu. Dále bude na vrch robotu instalována kamera pro přenos obrazu. Všechny tyto hodnoty a obraz se budou zobrazovat obsluze na display. Přenos signálu bude vzduchem.



obrázek 4.1 - vybraná optimální varianta

## 5. Výpočet pohonu robotu

Pro stanovení potřebného točivého momentu na kole a potřebného výkonu motoru potřebujeme znát odpory působící proti směru pohybu robotu. Jsou to valivý odpor, vzdušný odpor, odpor stoupání a odpor zrychlení. Po vypočtení těchto odporů si můžeme zvolit motor a pak navrhnout druh motoru, napájení, řízení. Volbu valivého odporu obsahuje tabulka 5.2, volbu vzdušného odporu tabulka 5.3 a součinitele rotujících částí tabulka 5.4. Tabulky jsou u výpočtu daných odporů.

### 5.1. Zadání hodnot

Veličina	Hodnota	Jednotka
Průměr kola	355,6	mm
Hmotnost	25	kg
Úhel stoupání	25	°
Rychlost	6	km/h
Zrychlení	1	m/s <sup>2</sup>
Souč. valivého odporu	0,2	-
Součinitel tření	0,7	-
Počet hnaných kol	2	ks
Čelní plocha	133230	mm <sup>2</sup>
Rychlost protivětru	20	km/h
Souč. vzdušného odporu	0,5	-
Hustota vzduchu	1,25	kg/m <sup>3</sup>
Souč. rotujících částí	1,2	-
Teoret. výška překážky	125	mm
Minimální doba provozu	1	h

tabulka 5.1 - zvolení hodnot pro výpočet

### 5.2. Výpočet valivého odporu:

Valivý odpor působí proti otáčení kola. K výpočtu potřebujeme znát úhel stoupání kopce " $\alpha$ ", hmotnost " $m$ ", tíhové zrychlení " $g$ " a součinitel valivého odporu " $f_v$ ".

Některé součinitele valivého odporu pneumatik pak můžeme odečíst, viz. tabulka 5.2

Povrch	$f_K$	Povrch	$f_K$
Asfalt	0,01 – 0,02	Travnatý terén	0,081 – 0,015
Beton	0,015 – 0,025	Hluboký písek	0,15 – 0,30
Dlažba	0,02 – 0,03	Čerstvý sníh	0,20 – 0,30
Polní cesta - suchá	0,04 – 0,15	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Polní cesta - mokrá	0,08 – 0,20	Náledí	0,01 – 0,025

tabulka 5.2 - součinitel valivého odporu pneumatik pro různé povrchy

$$F_f = m \cdot g \cdot f_v \cdot \cos \alpha = 25 \cdot 9,807 \cdot 0,2 \cdot \cos 30 = \underline{\underline{44,44\text{N}}}$$

### 5.3. Výpočet vzdušného odporu:

Typ vozidla	$c_x$ [-]	$S_x$ [m <sup>2</sup> ]
Osobní automobily	0,3 – 0,4	1,6 – 2,0
Sportovní vozy	0,3 – 0,35	1,3 – 1,6
Nákladní vozy	0,8 – 1,0	4 - 7
Autobusy	0,5 – 0,7	5 – 7

tabulka 5.3 - součinitel vzdušného odporu pro dopravní prostředky

Protože tento odpor působí proti směru pohybu robotu, musíme pro tento výpočet znát čelní plochu robotu " $S$ ", kterou odečteme např. ze 3D modelu v CAD systému průmětem do nárysny. Dále pak hustotu vzduchu " $\rho_v$ ", která je při 20°C a atmosférickém tlaku 1013KPa asi 1,25kg·m<sup>-3</sup>. Zvolíme maximální rychlost větru " $\zeta$ ", proti kterému se bude robot pohybovat a nakonec pak součinitel vzdušného odporu " $c_x$ ". Některé součinitele obsahuje tabulka 5.3. Rychlost pohybu robotu je " $v$ ".

$$F_v = \frac{c_x \cdot S \cdot \left(\frac{v+\zeta}{3,6}\right) \cdot \rho_v}{2000000} = \frac{0,5 \cdot 133230 \cdot \left(\frac{v+\zeta}{3,6}\right) \cdot 1,25}{2000000} = \underline{\underline{2,17\text{N}}}$$

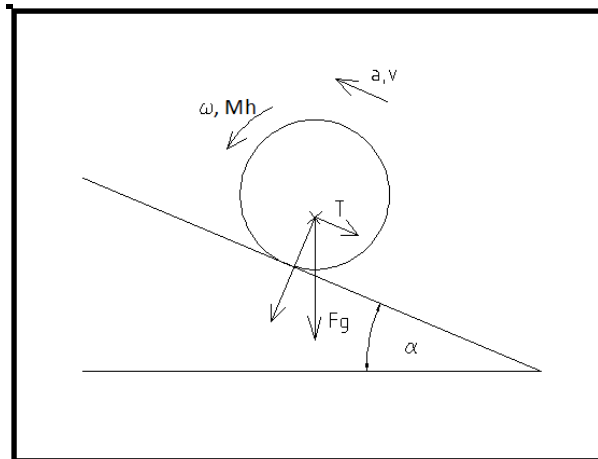


#### 5.4. Výpočet odporu stoupání

Tento odpor působí proti pohybu robotu při jízdě do kopce. Parametry, které potřebujeme znát, jsou hmotnost "m", tíhové zrychlení "g" a úhel stoupání kopce. Situaci zobrazuje obrázek 5.1.

$$F_s = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$$F_s = 25 \cdot 9,807 \cdot \sin(25) = \underline{103,62\text{N}}$$



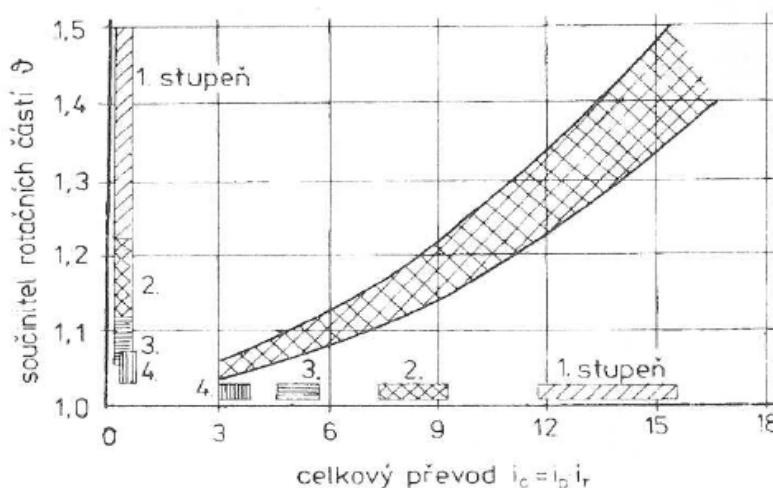
obrázek 5.1 - schéma sil při jízdě do kopce

#### 5.5. Výpočet odporu zrychlení

Je to síla působící proti pohybu robotu při rozjezdu. Potřebujeme znát hmotnost robotu "m", zvolíme požadované zrychlení "a" a odečteme součinitel rotačních částí  $\vartheta$ , který obsahuje tabulka 5.4

$$F_z = m \cdot a \cdot \vartheta$$

$$F_z = 25 \cdot 1 \cdot 1,2 = \underline{30\text{N}}$$



tabulka 5.4 - součinitel rotujících částí

### 5.6. Výpočet potřebného momentu a výkonu pohonu

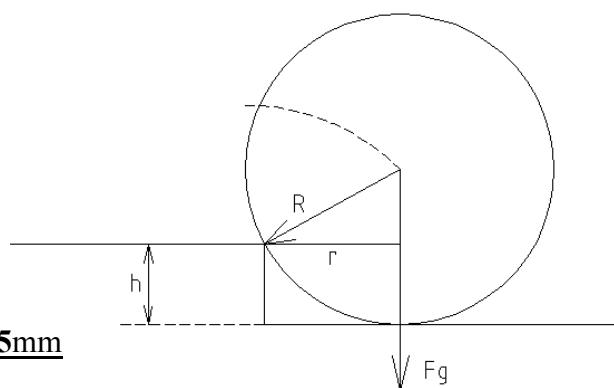
Potřebný moment spočteme tak, že sečteme všechny odpory a vynásobíme ramenem, na kterém působí. Což je v tomto případě poloměr. Musíme také zohlednit počet pohonů "i". Jelikož má dvoukolový robot hnané každé kolo zvlášť, můžeme výsledek vydělit počtem pohonů. Výsledek porovnáme s momentem, který bude robot potřebovat pro zdolání teoretické překážky (viz obrázek 5.2). Počítáno s ideálním kontaktem v bodě dotyku. V úvahu bereme větší moment, ze kterého pak jednoduše vypočteme potřebný výkon pohonu a to tak, že jej násobíme úhlovou rychlostí " $\omega$ ", kterou spočteme z rychlosti pohybu " $v$ " a průměru kola " $d$ ".

$$R = d/2)$$

$$r = \sqrt{R^2 - (R - h)^2} =$$

$$r = \sqrt{177,8^2 - (177,8 - 80)^2} = \underline{\underline{148,5\text{mm}}}$$

$$F_g = m \cdot g = 25 \cdot 9,807 = \underline{\underline{245,18\text{N}}}$$



obrázek 5.2 - schéma nájezdu na překážku

Potřebný moment překonávající odpory:

$$M_h = (F_f + F_f + F_f + F_f) \cdot \frac{d}{2000 \cdot i}$$

$$M_h = (44,44 + 2,17 + 103,62 + 30) \cdot \frac{355,6}{2000 \cdot 2} = \underline{\underline{16\text{N}\cdot\text{m}}}$$

Potřebný moment k překonání překážky:

$$M_p = F_g \cdot \frac{r}{1000 \cdot i} = 245,18 \cdot \frac{148,5}{1000 \cdot 2} = \underline{\underline{18,2\text{N}\cdot\text{m}}}$$

$$M_p > M_h$$

$M_p$  - je teoretický potřebný moment. Výpočet se musí zkontrolovat s reálnou překážkou, kterou dokáže překonat kolo třecí silou při přejezdu přes překážku.

$$T = F_g \cdot \sin \alpha$$

$$N = F_g \cdot \cos \alpha$$

$$T = N \cdot f$$

$$f = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$$

$$h_{max} = \sin(\arctg(f)) \cdot \frac{d}{2}$$

$$h_{max} = \sin(\arctg(0,7)) \cdot \frac{355,6}{2} = \mathbf{102\text{mm}}$$

$$r = \sqrt{177,8^2 - (177,8 - 102)^2} = \mathbf{160,8\text{mm}}$$

$$M_p = F_g \cdot \frac{r}{1000 \cdot i} = 245,18 \cdot \frac{160,8}{1000 \cdot 2} = \mathbf{19,7\text{N}\cdot\text{m}}$$

Výpočet otáček kola:

Úhlová rychlost:

$$\omega = \frac{\frac{v}{d}}{\frac{2000}{2000}} = \frac{2000 \cdot 6}{3,6 \cdot 355,6} = \mathbf{9,37\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}}$$

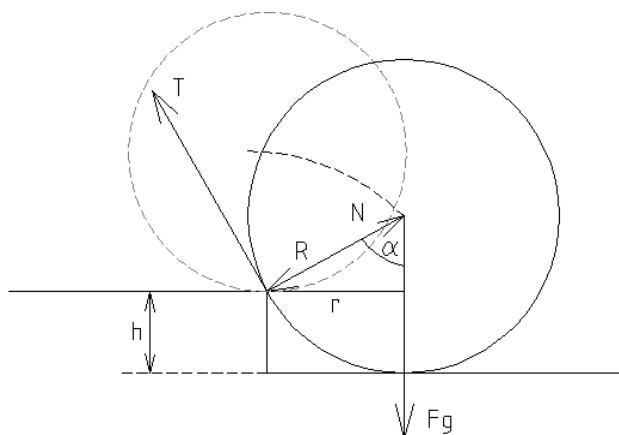
Otáčky:

$$n = \frac{60 \cdot \omega}{2 \cdot \pi} = \frac{30 \cdot 9,37}{\pi} = \mathbf{89,51\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}}$$

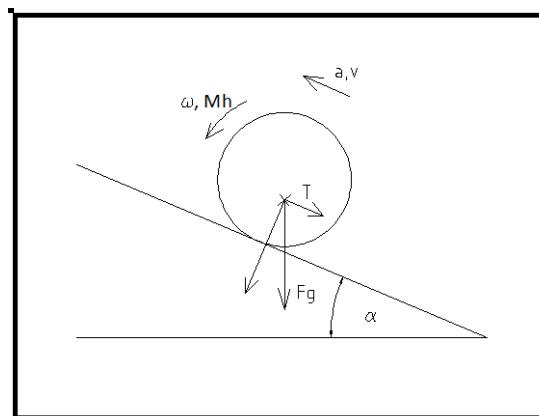
Výpočet výkonu pohonu:

$$P = M_p \cdot \omega = 19,7 \cdot 9,37 = \mathbf{184,8\text{W}}$$
 - krátkodobě (pouze pro přejezd překážky)

- výpočty provedeny v programu Matlab (viz příloha výpočty.xmcd)



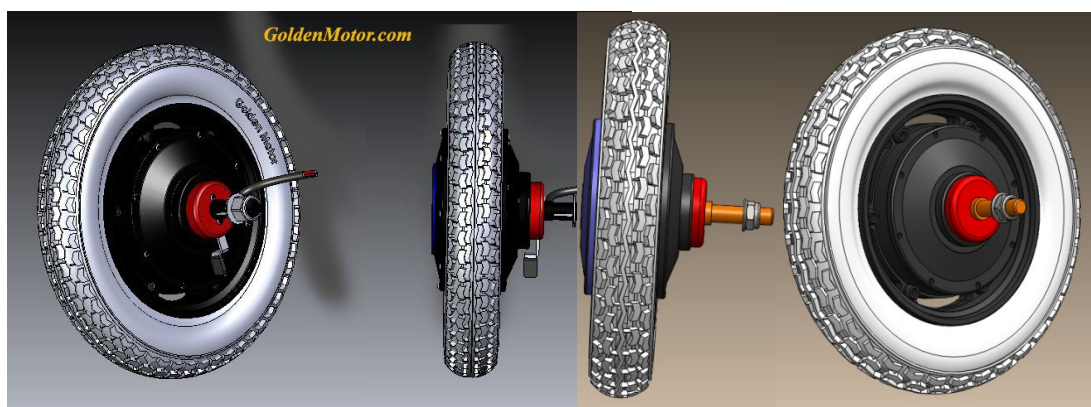
obrázek 5.3 - překonání reálné překážky



obrázek 5.4 - směr rychlosti, zrychlení, momentu

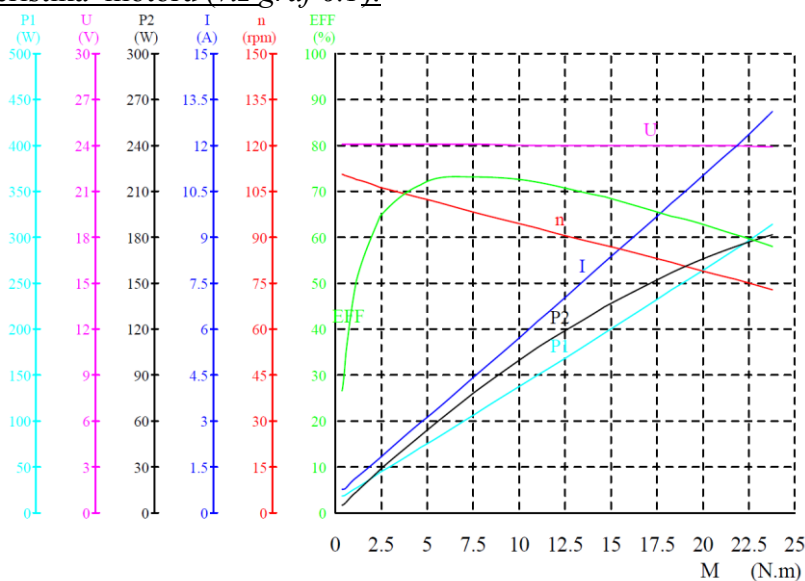
## 6. Volba a parametry pohonu

Podle vypočtených parametrů a zvážení konstrukce robota (vice v kapitole 9), byly zvoleny motory zabudované v náboji (hub motors) od firmy Goldenmotor (viz obrázek 6.1). Jde o čínský výrobek, tudíž je poměrně levný, okolo 140,- \$ (2500,- Kč). Navíc je zde široký výběr výkoností a je konstrukčně vhodný pro připevnění k robotu. Nevýhodou je pak nízká účinnost. Motor je stejnosměrný, bezkartáčový (brushless). S tímto se musí počítat při volbě budiče. Navíc je tento motor vybaven i hallovou sondou, což je výhoda, která se využije u řízení, (bohužel nebyla nalezena výkresová dokumentace, proto se rozměry modelu odvíjí od průměru kola 14")



obrázek 6.1 - vlevo originál, (vpravo model)

Charakteristika motoru (viz graf 6.1):



graf 6.1 - výkonová charakteristika BLDC "hub" motorů

Tabulka s výkonnostmi a účinnostmi motorů (viz tabulka 6.1):

No:	U	I	P1	M	n	P2	EFF
	(V)	(A)	(W)	(N.m)	(rpm)	(W)	(%)
1	24.06	0.729	17.54	0.40	110.3	4.61	26.3
2	24.06	0.742	17.86	0.43	110.3	4.96	27.7
3	24.06	0.769	18.51	0.50	110.0	5.75	31.0
4	24.06	0.812	19.54	0.59	110.0	6.79	34.7
5	24.06	0.888	21.38	0.73	109.7	8.38	39.2
6	24.06	0.988	23.78	0.92	109.4	10.53	44.3
7	24.06	1.117	26.88	1.19	108.8	13.55	50.4
8	24.06	1.287	30.98	1.53	108.1	17.31	55.8
9	24.05	1.520	36.59	1.94	107.4	21.81	59.6
10	24.05	1.787	42.98	2.49	106.2	27.68	64.4
11	24.04	2.122	51.03	3.11	105.4	34.32	67.2
12	24.04	2.496	60.00	3.85	104.1	41.96	69.9
13	24.03	2.924	70.29	4.67	102.7	50.21	71.4
14	24.03	3.376	81.14	5.62	101.4	59.66	73.5
15	24.02	3.891	93.50	6.55	99.6	68.30	73.0
16	24.02	4.455	107.0	7.64	97.9	78.31	73.1
17	24.01	5.002	120.1	8.71	96.3	87.81	73.1
18	24.00	5.602	134.5	9.89	94.4	97.74	72.6
19	23.99	6.218	149.2	11.03	92.9	107.2	71.9
20	23.98	6.843	164.1	12.27	90.8	116.6	71.0
21	23.97	7.503	179.9	13.45	88.9	125.1	69.5
22	23.97	8.147	195.3	14.70	87.2	134.2	68.7
23	23.96	8.824	211.4	15.90	85.4	142.1	67.2
24	23.95	9.454	226.5	17.15	83.3	149.5	66.0
25	23.94	10.09	241.8	18.30	81.5	156.1	64.5
26	23.93	10.71	256.3	19.55	79.7	163.1	63.6
27	23.92	11.34	271.3	20.64	77.9	168.3	62.0
28	23.92	11.95	285.9	21.80	75.9	173.2	60.5
29	23.91	12.51	299.4	22.80	74.4	177.6	59.3
30	23.91	13.09	313.1	23.82	72.6	181.0	57.8

*tabulka 6.1 - vyráběné výkonnosti motorů a označení použitého pro práci*

- MOTOR NEMÁ SICE VYPOČTENÝ VÝKON, ALE TENTO TYP MOTORU LZE BEZ PROBLÉMŮ KRÁTKODOBĚ PŘETÍŽIT, COŽ POSTAČÍ K PŘEKONÁNÍ PŘEKÁŽKY

## **7. Výpočet spotřeby a volba baterií**

Pro vhodnou volbu baterie (baterií) musíme znát příkon motoru "P<sub>0</sub>" (viz tabulka 6.1), napětí "U"(viz tabulka 6.1), na které je motor konstruovaný, počet motorů "i" a požadovanou dobu provozu "t" (viz tabulka 5.1). Měl by se ještě přičíst odběr ostatních součástí robotu. Vzhledem k tomu, že budu provádět výpočet pro situaci, kdy motory pracují na plnou zátěž, můžu považovat výsledek jako směrodatný s dostatečnou rezervou.

### 7.1. Výpočet spotřeby motorů a kapacity baterií

maximální proud: 
$$I_{max} = \frac{P_0}{U} = \frac{226,5}{23,95} = \underline{\underline{9,46A}}$$

kapacita baterií: 
$$C = I_{max} \cdot t \cdot i = 9,46 \cdot 1 \cdot 2 = \underline{\underline{18,92A \cdot h}}$$

### 7.2. Volba baterií

Baterie budou muset generovat napětí  $U=24V$  a kapacitu  $C$  mít okolo  $20A \cdot h$ .

Výpočet počtu článků při osazení tužkovými Ni-MH bateriemi (viz obrázek 7.1)

$U_b = 4,8V$ ,  $C_b = 1500mA \cdot h$ . Vezmeme-li v úvahu balíček baterií na obrázku, tak váží 98g a cena se pohybuje okolo 4,-\$ (72,- Kč).

$$N = \frac{U}{U_b} \cdot \frac{C}{C_b} = \frac{24}{4,8} \cdot \frac{20}{1,5} = \underline{\underline{67}} \text{ balíčků těchto baterií (muselo by být 70 balíčků)}$$

Hmotnost článků by tedy byla asi 6,5kg a cena by se pohybovala okolo 270,-\$ (4850,-Kč).

Bylo nutné použít jiný zdroj, protože pro požadované napětí by se muselo 67 balíčků baterií spojit do série po pěti. Těchto sérií by muselo být čtrnáct pro dostatečnou výdrž.



obrázek 7.1 - balíček baterií 4,8V, 1,5Ah

Baterie, která byla vybrána (*viz obrázek 7.2*), využívá technologie LiFePO<sub>4</sub>. Jde o použití jiných materiálů. Namísto nikl metal-hydridových baterií je použit fosforečnan železnato-litný. Tato baterie je bezpečnější (odolává tepelným únikům) a dokáže poskytovat vysoký proud při špičkách. Nevýhodou je pak citlivost na rychlé nabíjení. Škodí jim také časté vybíjení pod 10% kapacity. Pro ochranu baterie bude použit softwarový program.

Konkrétně je to tedy baterie pro elektro-kola, takže by ji neměly vadit otřesy a bude vhodná i pro použitý pohon robota. Baterie je 24V a má kapacitu 20A·h. Váží 3kg a cena se pohybuje okolo 180,-\$ (3240,- Kč).



*obrázek 7.2 - baterie LiFePO<sub>4</sub> - 24V, 20Ah*

VÝROBCE NEUDÁVÁ MAXIMÁLNÍ PROUD, KTERÝ BATERIE VYDRŽÍ. Z TOHOTO DŮVODU NEMOHU PROVÉST KONTROLU BATERIE NA ÚNOSNOST MAXIMÁLNÍHO PROUDU



## 8. Elektronika

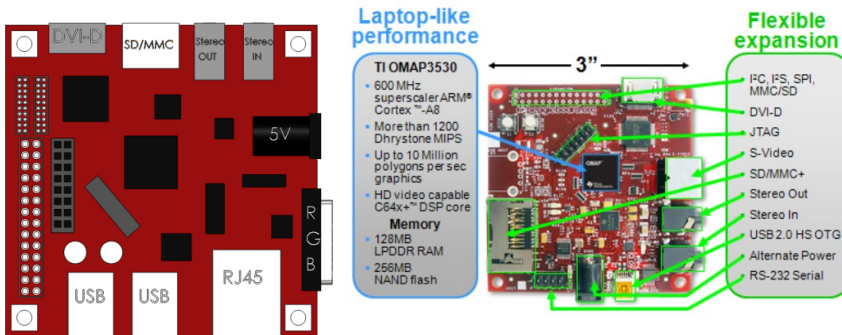
Kromě motorů a baterií musí robot ještě obsahovat řídicí elektroniku, která bude zajišťovat jeho chod. Jelikož je robot pouze dvoukolový, musí se o jeho stabilitu postarat motory, které budou dostávat signály od řídicí elektroniky a celý robot pak udržovat v rovnováze. Dále bude u robota použita venkovní IR kamera pro přenos obrazu, LED svítilny pro případné přisvícení v noci nebo při poruše přisvitu kamery. LED svítilny budou napájeny z baterie stejně jako ostatní elektronika a budou zapotřebí měniče napětí. Robot bude dále vybaven plynovými, zvukovými a tepelnými senzory. Data bude zpracovávat počítač a vysílat přes Wi-fi obsluhu robota na display.

### 8.1. Řídicí počítač

Pro řízení jsem vybral počítač Beagleboard (viz *obrázek 8.2*). Je levný, malý, výkonný a disponuje širokou škálou modulů, které jdou připojit. Komunikuje přes OS Linux. Je napájen 5V, procesor 600MHz, paměť RAM 128MB, Flash paměť 256MB (+možnost vložení SD/MMC karty), 3D grafický akcelerátor poskytující 10mil polygonů za sekundu, HD video karta až pro 430MHz, na ostatní rozhraní poukazuje *obrázek 8.1*.



*obrázek 8.2 - Počítač Beagleboard (vpravo model)*

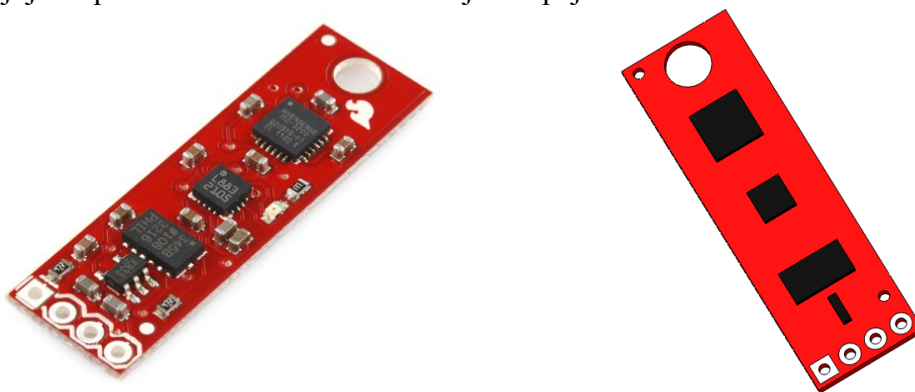


*obrázek 8.1 - popis počítače Beagleboard*



## 8.2. Systém senzorů pro vyvažování

Senzor zaznamenávající 9 stupňů volnosti (viz *obrázek 8.3*). Je velice malý a lehký. Obsahuje gyroskop, magnetometr a akcelerometr. Velký otvor je určen pro montáž. Připojuje se pomocí sběrnice I2C. Odtud je i napájen.



*obrázek 8.3 - 9DOF sensorstick (vpravo model)*

## 8.3. Kamera

Byla zvolena kamera od firmy Vivotek, konkrétně FD6122V (viz *obrázek 8.4*). Jde o venkovní kameru s IR přísvitem a dvěma osami natáčení (okolo 360°, sklápění nahoru a dolů 120°). Napájení je 12V a spotřeba 7,2W. Komprese volitelně MPEG4/MJPEG, od 352×288bodů a 25 snímků/s, až po 704×576bodů a 12 snímků/s. 1/3" CCD snímací čip (citlivost 0Lux při zapnutém IR, vzdálenost cca 10m). Objektiv 3.6mm, duplexní synchronní přenos zvuku, 1×10/100Mb Ethernet s možností externího mikrofonu a reproduktoru.



*obrázek 8.4 - Vivotek FD6122V (vpravo model)*

#### 8.4. Wi-fi karta

Wi-fi karta bude sloužit pro komunikaci mezi robotem a operátorem. Použita bude obyčejná, běžně dostupná karta TP-LINK TL-WN422G (viz *obrázek 8.5*). Anténa karty musí být vyvedena ven z robotu. Napájena bude přes USB.



*obrázek 8.5 - Wi-fi karta TP link*

#### 8.5. Budiče pro motory

Budiče pro motory jsou vybrány tak, aby se hodily k danému typu úlohy a hlavně ale k použitým pohonům. Jedná se opět o čínský výrobek (viz *obrázek 8.6*) blíže nespecifikovaného názvu, který je levný a poměrně malý. Umístěn bude na spodu robotu společně s baterií a bude sloužit i jako zátěž. Baterie a budič musí být odděleny tepelným mostem, (musí být od sebe izolovány). Maximální proud, který budič snese, je 15A, což bohatě postačuje.



*obrázek 8.6 - budič pro motory 24V*

### 8.6. Budiče pro LED svítilny

Dvoukanálový budič pro LED (viz obrázek 8.7). Dvě svítilny budou zapojeny na jeden kanál a budou se zapínat společně. Z obrázku jsou patrné i další údaje.



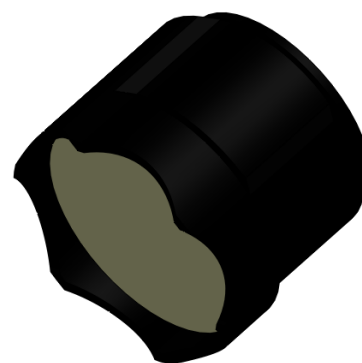
obrázek 8.7 - budič LED diod

### 8.7. LED svítilny

Budou použity běžně dostupné hliníkové LED svítilny (viz obrázek 8.9), které mohou být používány i venku. Ze svítilny použiju pouze přední část, bez komory pro baterie (viz obrázek 8.8), kterou připevním na plech. Napájeny budou z baterie použité v robotu.



obrázek 8.9 - LED svítilna



obrázek 8.8 - model použité části svítilny

### 8.8. Napětové měniče



obrázek 8.10 - napětové měniče

- budou použity čtyři stejné napětové měniče s odlišnými parametry (2,3/0,1 5V/2A; 9V/2A; 12V/2A)
- určeno pro napájení počítače, osvětlení, snímačů kamery a ostatní elektroniky (viz obrázek 8.10)
- součástky budou osazeny do jednoduchého plošného spoje

### 8.9. Senzory

Pro snímání teploty a vlhkosti vzduchu je zvolen smíšený senzor (viz obrázek 8.11) od firmy Sensit. Je napájen 9V a má analogový výstup. Bude připojen k počítači a přes Wi-fi se budou odesílat data k operátorovi.



- provedení je s děleným čidlem
- čidlo bude vyvedeno vně robota vedle kamery a bude spojeno s počítačem uvnitř
- rozsah měření teploty -30° - 105° (odchylka 0,4%)
- měření vlhkosti 0-100% (odchylka 0,05%)

obrázek 8.11 - snímač teploty a vlhkosti

Dále pak budou použity plynové senzory od firmy Figaro (viz obrázek 8.12) pro měření škodlivých látek ve městě, jako jsou například oxid uhelnatý, isobutan, etanol, amoniak, oxid siřičitý, benzín a také znečištění vzduchu (smog). Konkrétně budou použity senzory Figaro 800, 820 a Figaro 2600, 2610. Napájení je 5V.



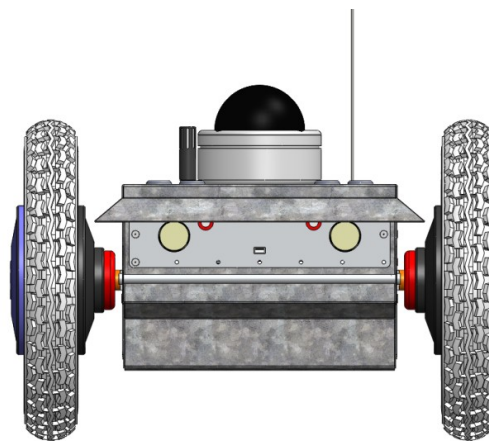
obrázek 8.12 - plynové senzory Figaro

## 9. Konstrukce a montáž robotu

V této pasáži bude zpočátku popsáno neúspěšné řešení původního plánu konstrukce (viz *obrázek 9.2*) a vysvětleny důvody, které vedly ke změně řešení. Následuje popis konstrukce finální podoby robotu (viz *obrázek 9.1*) a popis jeho sestavení. Nakonec jsou shrnuty základní parametry robotu.



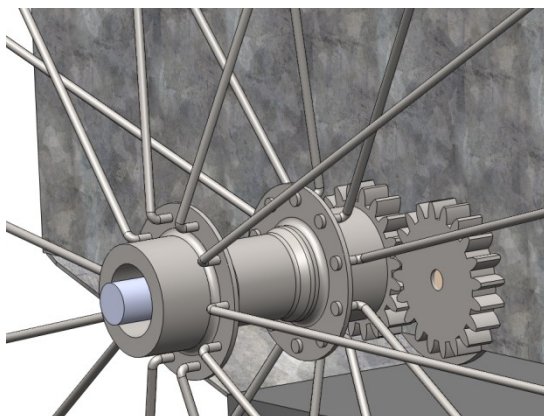
*obrázek 9.2 - původní konstrukce*



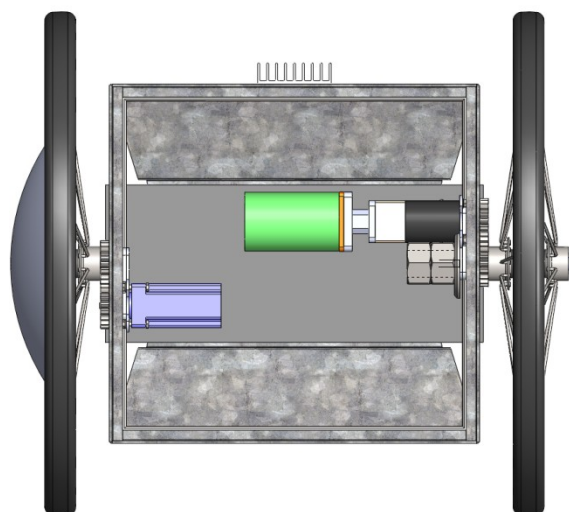
*obrázek 9.1 - nová konstrukce*

### 9.1. Původní konstrukce

Nejprve byl robot konstruován se záměrem, že uvnitř robotu budou dva pohony (viz *obrázek 9.3*). Pohony by obsahovaly motor s planetovou převodovkou a enkodér pro řízení. Nevýhodou těchto pohonů pro výše uvedený typ robotu je jejich délka. Řešení spočívalo v tom, že by motory byly posazeny mimo osu otáčení kol a hnací síla by se přenášela pomocí ozubených kol z vnější strany robotu (viz *obrázek 9.4*).



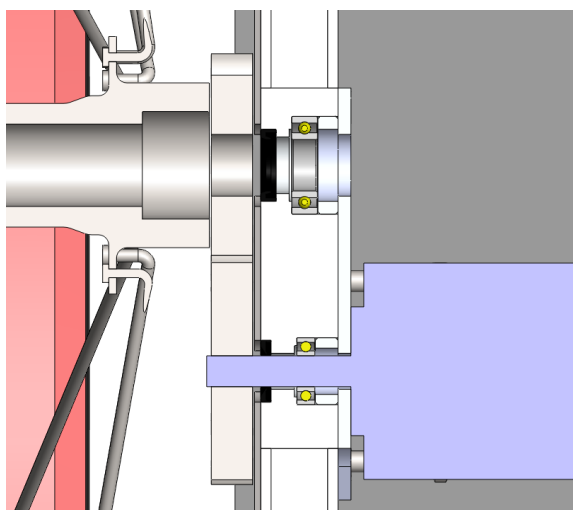
*obrázek 9.4 - ozubená kola vně robotu*



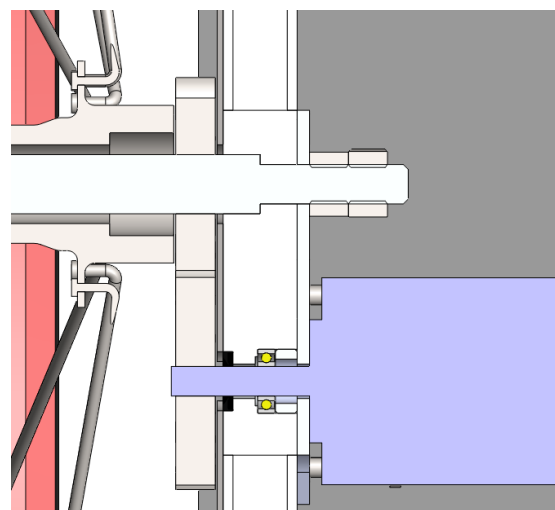
*obrázek 9.3 - ukázka motoru s převodovkou a bez převodovky*

Výhodou by bylo, že tyto dlouhé jednotky by nebyly v ose a ušetřilo by se místo (viz *obrázek 9.3*). Dále by se také mohl ještě upravit převodový poměr, takže by planetová převodovka připojená k motoru mohla mít třeba pouze jeden stupeň, čímž by došlo ke zmenšení délky pohonné jednotky. Nevýhodou by samozřejmě bylo, že by ozubená kola byla z vnější strany robotu (viz *obrázek 9.4*). Problémem je také ještě řešení otázky, jak vhodně upevnit ložiska os ozubených kol. K tomuto problému nemám poznatky, jelikož jsem k této fázi při návrhu řešení nedospěl.

Jako další konstrukční problém se vyskytlo uchycení použitých kol. Konkrétně jsem vybral 16" naplétaná kola pro dětské jízdní kolo. Byly vypracovány dvě varianty, jak by mohlo být kolo uchyceno. První spočívala v tom, že by se nedělaly úpravy náboje kola a osa kola by se musela připevnit k rámu z jedné strany (viz *obrázek 9.5*). Osa by musela ale zůstat otočná. Tento problém se nepovedl vyřešit. U další varianty byla použita pevná osa, ale opět vznikl problém s uchycením kola k této pevné ose (viz *obrázek 9.6*). Kola by byla ještě vybavena zvláštními poklicemi, které by zajistily, že by se vrátil opět na kola, kdyby došlo k případnému převržení robotu (viz *obrázek 9.2*). Další výhodou těchto kol je, že by kamera mohla vidět skrze výplet i do boků. Navíc ještě kamera nepřesahuje obrys kola, proto by nemuselo dojít k poškození kamery při přetočení kolem osy otáčení kol.



*obrázek 9.5 - uložení s otočnou osou*

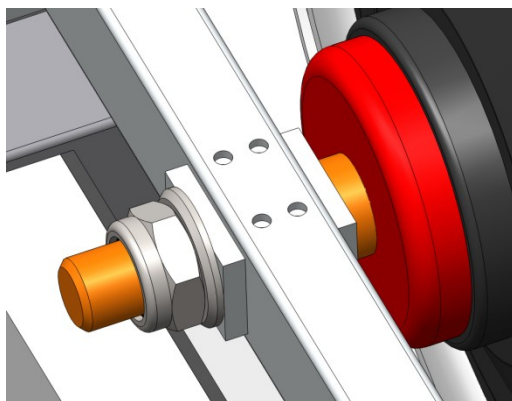


*obrázek 9.6 - uložení s pevnou osou*

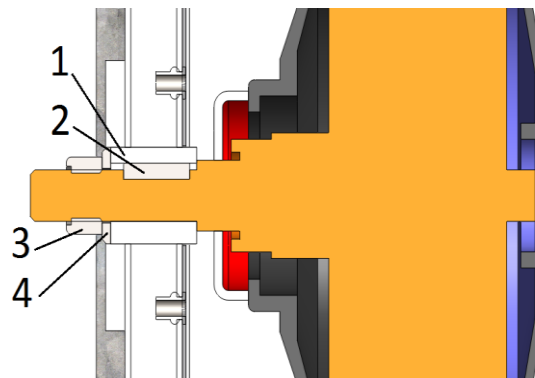


## 9.2. Nová konstrukce

K vyřešení problémů vedlo použití elektro-kola. Bylo vybráno 14" motorové elektro-kolo popsané v kapitole 6 (viz *obrázek 6.1*). Velkou výhodou je možnost připevnění kola k rámu. Kolo má totiž pevnou osu, která se opře o jednu stranu rámu osazením a z druhé strany se dotáhne maticí. Proti pootočení osy slouží pero, které se dodává zároveň s kolem, stejně tak jako matice pro dotažení (viz *obrázek 9.7*).

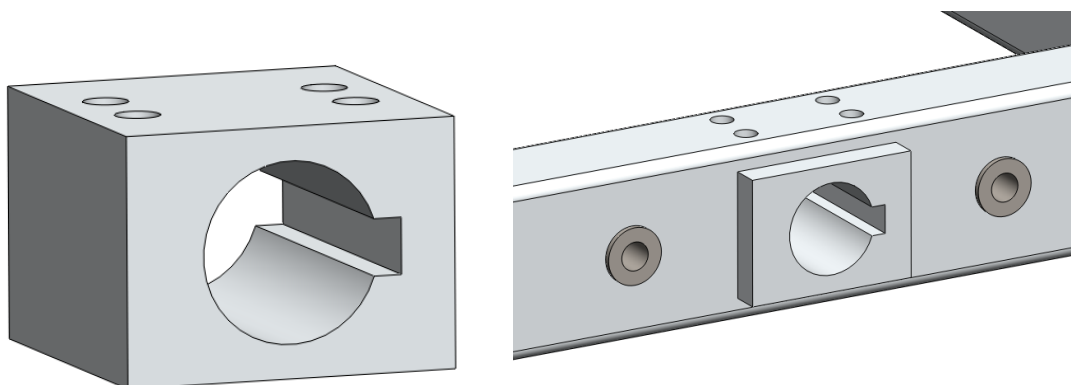


*obrázek 9.7 - uchycení kola*



*obrázek 9.8 - 1) kostka; 2) pero; 3) matice; 4) podložka*

Konstrukce robota je koncipována tak, aby splňovala dostatečnou tuhost a přitom byla kompaktní a dala se snadno rozebírat. Zvolen byl jednoduchý, svařovaný, hliníkový nebo ocelový rám, do kterého se vloží a přišroubují kostky s drážkami pro pero (viz *obrázek 9.9*).

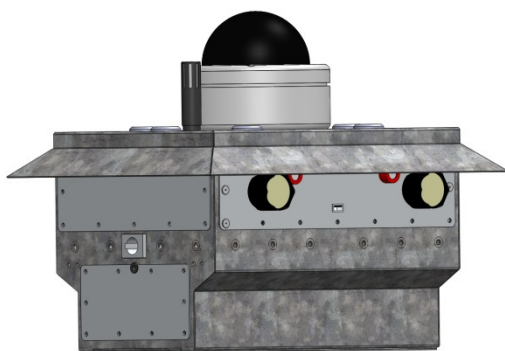


*obrázek 9.9 - kostka pro uložení kol*

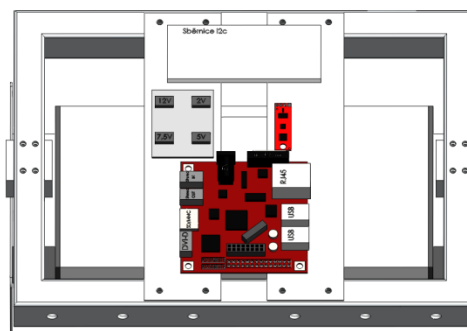


Kostka může být i dělená, aby byla jednodušší výroba. Materiál kostky je hliník. Do této kostky se nasune osa kola s perem a zevnitř se přitáhne samojistnou maticí (viz obrázek 9.7).

Oplechování robotu je uskutečněno z pozinkovaného plechu, tloušťky 1,2mm. Ohybem plech získá na tuhosti a může sloužit jako nosná konstrukce pro kameru. Z důvodu špatné tepelné vodivosti oceli musela být vyřešena otázka chlazení. Proto budou do těchto plechů vysekány obdélníkové otvory, do kterých se nanýtují hliníkové plechy a na ně se následně připevní elektronika (viz obrázek 9.10). Navíc budou hliníkové plechy chladit i vnitřní prostor, kde bude ostatní elektronika také upevněna na dalších hliníkových pleších (viz obrázek 9.11).

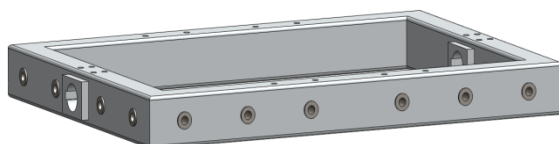


obrázek 9.10 - hliníkové plechy na plášti

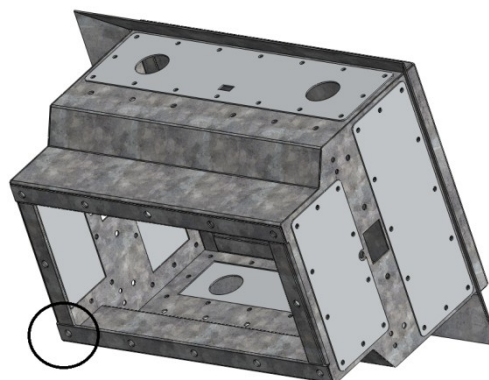


obrázek 9.11 - hliníkové plechy s elektronikou uvnitř

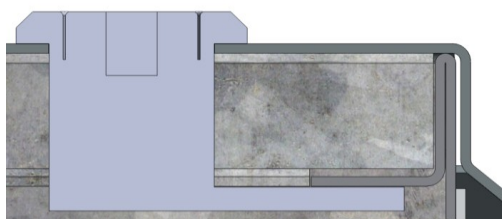
Boční ocelové plechy se přišroubují šrouby M5 do nýtovacích matic, které budou nanýtovány v rámu robotu (viz obrázek 9.12). Spodní plech bude opět přišroubován pomocí šroubů do nýtovacích matic, které budou nanýtovány ve spodní části bočních plechů (viz obrázek 9.13).



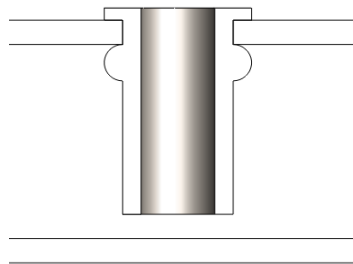
obrázek 9.12 - nýtovací matice v rámu



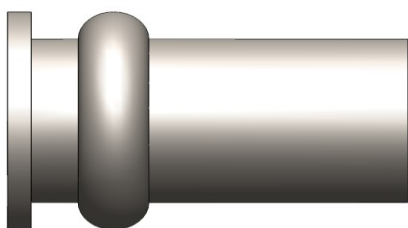
obrázek 9.13 - matice v bočních pleších



obrázek 9.14 - řez zajištění zámku



obrázek 9.15 - řez nýtovací maticí v rámu

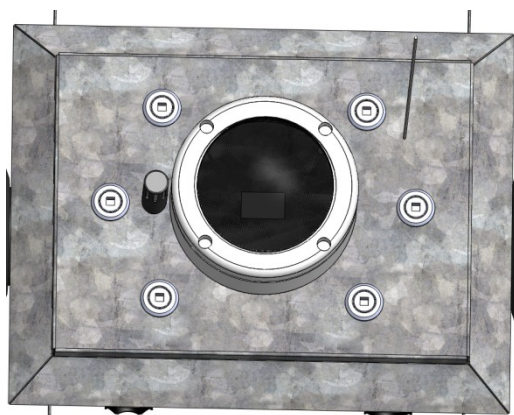


obrázek 9.16 - použitá nýtovací matice

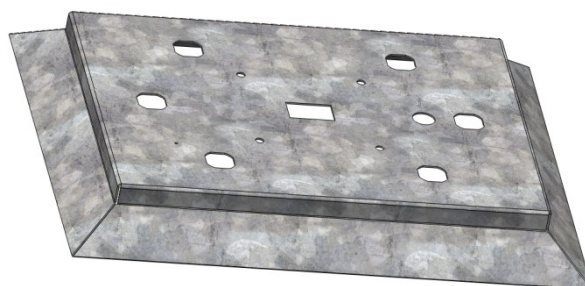


obrázek 9.17 - nepoužitá nýtovací matice

Poslední horní plech pak bude snadno demontovatelný díky šesti čtyřhranným zámkům (viz obrázek 9.18). Horní plech také obsahuje po obvodu plochu, pod kterou se schovají plynové senzory a bude lépe odváděna voda od robotu při případné jízdě v dešti (viz obrázek 9.19). Všechny otevřené hrany v rozích tohoto plechu budou svařeny.



obrázek 9.18 - čtyřhranné zámky

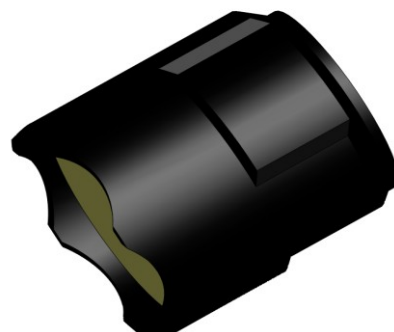


obrázek 9.19 - vysekané otvory horního plechu

Rohové spoje by měly být utěsněny silikonem, pod horní plech přijde gumové těsnění proti vniknutí nečistot, pro vymezení vůlí a dobré dosednutí po zajištění zámky. V hliníkových pleších vpředu a vzadu jsou umístěny LED svítilny, přičemž bude použita pouze část běžně nakupované svítilny (bez prostoru pro baterie). Svítilny se pak upevní zevnitř robotu pomocí průchozí matice (viz obrázek 9.22) a budou napájeny přes měnič a budič přímo z baterie. Přední a zadní plech pak bude ještě obsahovat konektor pro napájení baterie a také USB konektor pro přenos dat z robota nebo rychlé nahrání programu (viz obrázek 9.24 a obrázek 9.23). Na konektorech budou při jízdě gumové záslepky-krytky (model je neobsahuje)



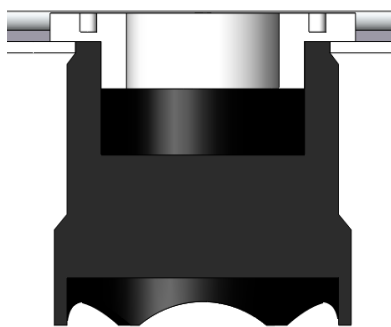
obrázek 9.21 - LED svítilna



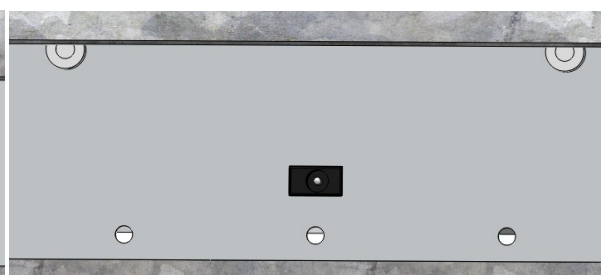
obrázek 9.20 - použitá část svítilny



obrázek 9.22 - průchozí matice LED svítilny

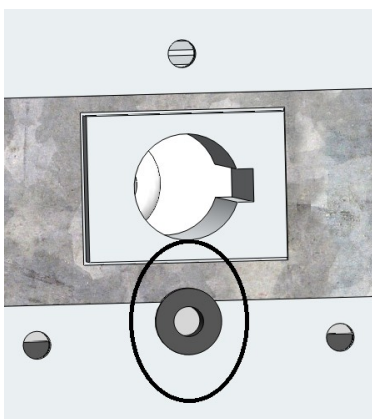


obrázek 9.24 - USB konektor v přední části

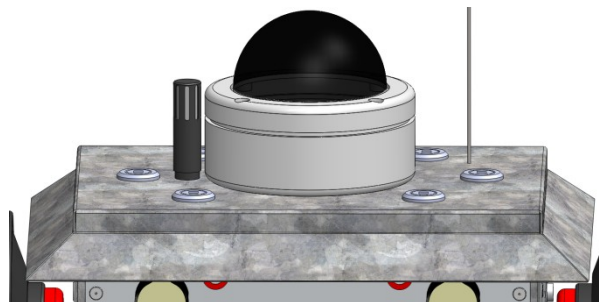


obrázek 9.23 - napájecí konektor v zadní části

Boční plechy budou mít otvory s gumovou průchodkou pro přivedení signálu k motorům v kolech (viz *obrázek 9.26*). Na horní plech pak bude ještě přišroubována kamera a senzor pro měření vlhkosti a teploty (viz *obrázek 9.25*). Bude také obsahovat otvor pro kabel na komunikaci počítače s kamerou a otvor pro anténu. Samozřejmě zde budou montovány i výše zmíněné čtyřhranné zámky.

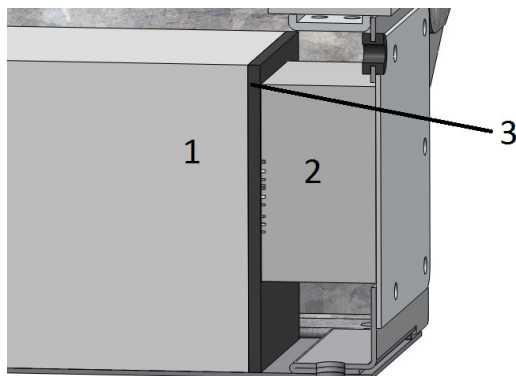


*obrázek 9.26 - gumová průchodka*

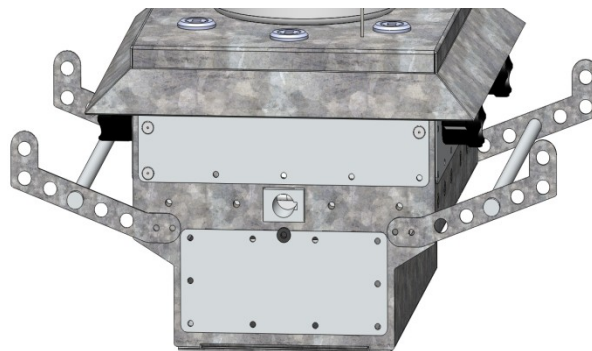


*obrázek 9.25 - kamera a senzor teploty a vlhkosti*

Uvnitř robotu jsou ještě přišroubovány k rámu dva hliníkové pásy plechu pro elektroniku (viz *obrázek 9.11*). Uspořádání elektroniky v robotu je pouze ilustrativní. Výjimkou jsou budiče motorů a baterie, které by měly být tam, kde je navrženo jejich umístění. Slouží totiž zároveň jako zátěž robotu. Jelikož se budiče budou zahřívat, musí být od baterie odizolovány (viz *obrázek 9.28*). Pro izolaci byl zvolen materiál "termosil". Konstrukce robotu je ještě dovybavena menšími plechy, do kterých je ukotvena plastová trubka. Tyto plechy slouží k ochraně kamery při případném přetočení robotu kolem osy otáčení kol (viz *obrázek 9.27*).



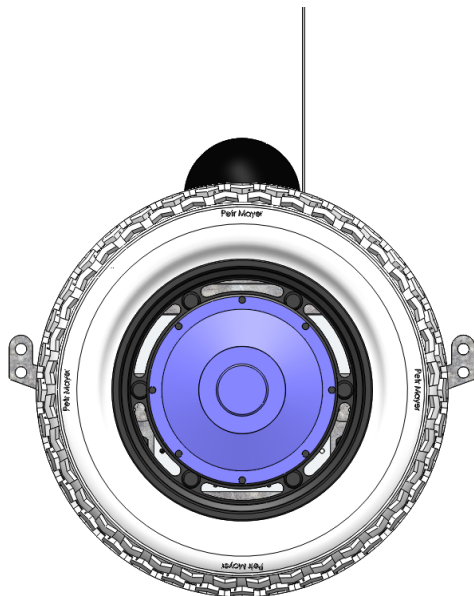
*obrázek 9.28 - 1) baterie; 2) budič; 3) izolace*



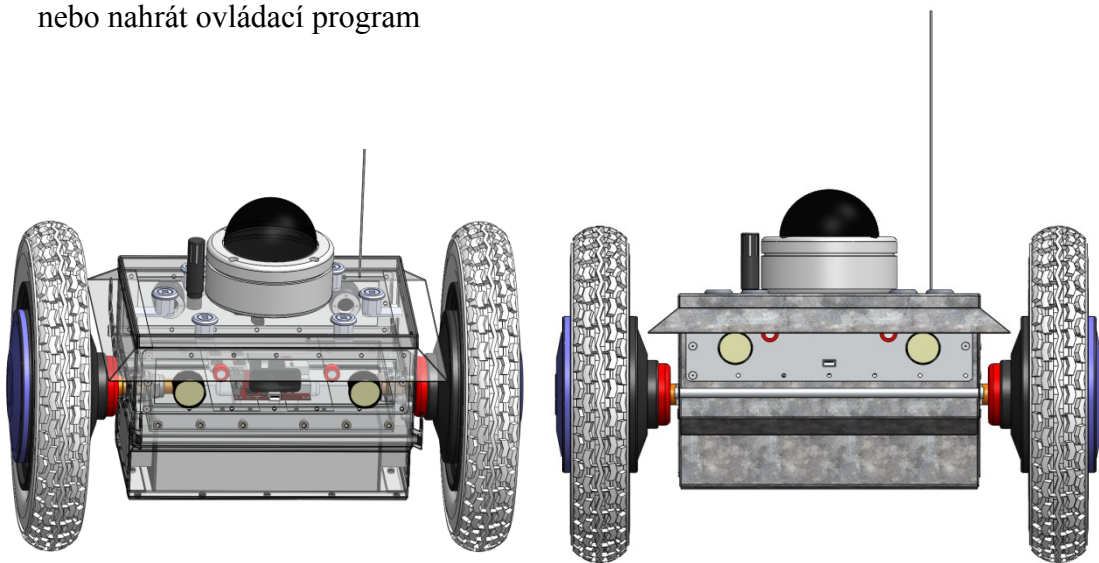
*obrázek 9.27 - plechy proti přetočení*

### 9.3. Parametry robotu

Hmotnost:	25kg
Výška (bez antény):	394mm
Šířka:	554mm
Hloubka:	402mm
Maximální rychlost:	6km/h
Zrychlení:	1m/s <sup>2</sup>
Stoupání kopce:	25°
Odhadovaná cena:	43000,- Kč
Zaručené doba provozu:	1h
Zaručeně překonatelná výška překážky:	102mm
Měřené hodnoty:	smog, LPG, benzín, CO, etanol, oxid siřičitý, isobutan, amoniak, teplota, vlhkost



- konstrukce je jednoduchá a je zaručena snadná montáž a přístup do robotu
- při dodržení postupu výroby a sestavení bude zaručena odolnost proti prachu a stříkající vodě
- díky konektorům vyvedeným na plášť robotu se robot bude snadno nabíjet a mohou se jednoduše získat data uložená robotem, např. na paměťovou kartu nebo nahrát ovládací program



obrázek 9.29 - konečná podoba dvoukolového robotu

## 10. Cenová kalkulace

Rám a plechy:	500,-Kč
Nýťovací matice:	180,- Kč
Nýty:	50,-Kč
Zámečky:	4x100,- Kč
Motory:	2x140,-\$ (5040,-Kč)
Baterie:	180,-\$ (3240,-Kč)
Kamera:	9320,- Kč
LED svítilny:	4x6,-\$ (430,-Kč)
Řídící počítač:	149,-\$ (2680,- Kč)
Senzor (9DOF):	175,-\$ (3150,-Kč)
Sběrnice I2C:	285,- Kč
Budiče motorů:	2x36,-\$ (1300,-)
Budiče LED:	390,- Kč
Napěťové měniče:	13,- Kč + 13,- Kč + 11,- Kč + 4,- Kč = 41,- Kč
Wi-fi karta:	235,- Kč
Plynové senzory:	519,- Kč + 418,- Kč + 719,- Kč = 1656,- Kč
Senzor tep./vlhkost:	1950,-
Vybavení operátora:	6 000,- (odhadovaná cena)
Ostatní:	2000,- (rezerva při vzniku drobnějších problémů, kolísání kurzu měny, atd.)

---

Celková cena:	<b><u>39 277,- Kč</u></b>
---------------	---------------------------



## **11. Zhodnocení a závěr**

Při řešení zadaného úkolu se v původní konstrukci vyskytly problémy, které bylo zapotřebí vyřešit. Hlavně problémy týkající se uchycení kol, uložení pohonů a rozměru baterií.

Vypracovaná konstrukce robotu je velice jednoduchá. Byla použita jiná kola s motory a jiná baterie, než bylo původně zamýšleno, Podařilo se však vyřešit jak otázku upevnění kol, tak i potíže s celkovou šířkou robotu. Jedinou nevýhodou oproti původním plánům je poněkud vyšší hmotnost asi o 4-6kg.

Samotná konstrukce je kompaktní a jednoduše smontovatelná. Do jacklového rámu jsou přišroubovány kostky pro uložení kol. Šroubovány jsou proto, aby byla zaručena rozebíratelnost. Do těchto kostek jsou pak vloženy osy kol, které se přitáhnou zevnitř robotu maticí. Kola jsou vybavena bezkartáčovými motory. Dále jsou pak do rámu nanýtovány matice, do kterých se přišroubují postranní plechy. Spodní plech je také přišroubován k bočním pomocí nýtovacích matic, takže baterie půjde jednoduše spodem vytáhnout pro případnou výměnu. Horní kryt je upnut pomocí čtyřhranných zámků pro snadný přístup a servis. Uspořádání elektroniky uvnitř robotu nemusí být nutně zachováno. Důležité ale je, aby baterie a budiče pro motory zůstaly položeny co nejnižší kvůli svoji váze a zajištění stability. Robot je osazen kvalitní venkovní otočnou IR kamerou, která přenáší obraz přes Wi-fi k operátorovi. Ten také bude řídit dálkově celý robot. Přenos všech signálů bude vzduchem. Chlazení elektroniky zajišťují hliníkové plechy uvnitř a po bocích robotu. Přední a zadní strana robotu obsahuje konektory pro nabití baterie a USB pro komunikaci s počítačem. Při selhání elektroniky nebo při vypnutí robotu slouží k zabránění proti přetočení kolem osy plechy, které jsou po bocích robotu a přesahují obrys kola. Nebudou však vadit při přejíždění překážky. Robot se bude moci bezpečně pohybovat déle než jednu hodinu. Maximální rychlost je 6km/h při zrychlení  $1\text{m/s}^2$ . Překonatelný úhel náklonu kopce, do kterého vyjede, je  $25^\circ$ . Výška překážky, kterou bezpečně přejede, odvíjející se ze tření mezi pneumatikou a povrchem, je 102mm. Byly splněny všechny požadavky při celkové ceně cca 40 tisíc korun a celkové hmotnosti 25 kg. Konstrukce se dá bez problému rozložit pro případnou výměnu nebo opravu jednotlivých dílů.

## 12. Použitá literatura

- [1] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory* [online]. Ostrava : [s.n.], 2007 . Dostupné z [www: www.robot.vsb.cz](http://www.robot.vsb.cz)
- [2] KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0626-6.
- [3] KÁRNÍK, Ladislav, KNOFLÍČEK, Radek, NOVÁK-MARCINČIN, Josef. *Mobilní roboty*. Opava : MÁRFY SLEZSKO, 2000.210 s. ISBN 80-902746-2-5.
- [4] KÁRNÍK, Ladislav. *Robotizace v nestrojírenských oborech*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2000,66 s. ISBN 80-7078-739-2.
- [5] VLK, František. : *Dynamika motorových vozidel*. Brno 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [6] PŇÁZOVÁ, Milena. *Když se řekne...Robot* [online]. 2008. Automatizace. Dostupné z: [www.automatizace.cz](http://www.automatizace.cz)
- [7] ČSN 01 6910. *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [8] ČSN ISO 6090. *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [9] *Gyroskop* [online]. 2008 Fyzmatik. Dostupné z: [www.fyzmatik.pise.cz](http://www.fyzmatik.pise.cz)
- [10] *Golden Motor* [online]. 2004. Dostupné z: [www.goldenmotor.com/](http://www.goldenmotor.com/)
- [11] *Alibaba: Global trade* [online]. 2002. Dostupné z: [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com)
- [12] *Segway: Rozjed' to!* [online]. 2002 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: [www.segway.cz](http://www.segway.cz)
- [13] *Aspa: Rozjed' to!* [online]. 2001 .Dostupné z: [www.wifi.aspa.cz](http://www.wifi.aspa.cz)
- [14] *Kamerové systémy Brno: Agerit* [online]. 2006. Dostupné z: [www.kamerove-systemy-brno.cz/](http://www.kamerove-systemy-brno.cz/)
- [15] *Sběrnice iI2C, o co jde a jak pracuje* [online]. 2002. Dostupné z: [www.dhservis.cz/iic.htm](http://www.dhservis.cz/iic.htm)



- [16] *Beagleboard* [online]. 2006. Dostupné z: [www.beagleboard.org/hardware](http://www.beagleboard.org/hardware)
- [17] *Sparkfun: sparkfun electronics* [online]. 2008. Dostupné z: [www.sparkfun.com](http://www.sparkfun.com)
- [18] *Snail instrument* [online]. 2012. Dostupné z: [www.shop.snailinstruments.com/](http://www.shop.snailinstruments.com/)

### **13. Seznam příloh**

- |            |                               |
|------------|-------------------------------|
| 1. Příloha | Výkresy a kusovník            |
| 2. Příloha | CD "Bakalářská práce - Mayer" |

Obsah CD:

- model v SolidWorks 2009
- varianty řešení v ProE Wildfire 5.0
- výpočty v Mathcad 14.0
- hodnotová analýza v MS Office Excel
- obrázky, tabulky, grafy
- výkresy v AutoCAD 2004
- zpráva bakalářské práce v pdf

## **14. Seznam obrázků**

obrázek 1.1 - segway .....	12
obrázek 1.2 - příklady konstrukcí dvoukolových robotů .....	13
obrázek 3.1 - varianty řešení .....	14
obrázek 3.2 - první varianta .....	15
obrázek 3.3 - druhá varianta .....	16
obrázek 3.4 - motor valeo 404855 .....	17
obrázek 3.5 - třetí varianta .....	17
obrázek 3.6 - motor valeo 404722 .....	18
obrázek 3.7 - čtvrtá varianta .....	19
obrázek 4.1 - vybraná optimální varianta .....	29
obrázek 5.1 - schéma sil při jízdě do kopce .....	32
obrázek 5.2 - schéma nájezdu na překážku .....	33
obrázek 5.3 - překonání reálné překážky .....	34
obrázek 5.4 - směr rychlosti, zrychlení, momentu .....	34
obrázek 6.1 - vlevo originál, (vpravo model) .....	35
obrázek 7.1 - balíček baterií 4,8V, 1,5Ah .....	37
obrázek 7.2 - baterie LiFePO4 - 24V, 20Ah .....	38
obrázek 8.1 - popis počítače Beagleboard .....	39
obrázek 8.2 - Počítač Beagleboard (vpravo model) .....	39

obrázek 8.3 - 9DOF sensorstick (vpravo model) .....	40
obrázek 8.4 - Vivotek FD6122V (vpravo model) .....	40
obrázek 8.5 - Wi-fi karta TP link .....	41
obrázek 8.6 - budič pro motory 24V .....	41
obrázek 8.7 - budič LED diod .....	42
obrázek 8.8 - model použité části svítilny .....	42
obrázek 8.9 - LED svítilna .....	42
obrázek 8.10 - napěťové měniče .....	43
obrázek 8.11 - snímač teploty a vlhkosti .....	43
obrázek 8.12 - plynové senzory Figaro .....	44
obrázek 9.1 - nová konstrukce .....	45
obrázek 9.2 - původní konstrukce .....	45
obrázek 9.3 - ukázka motoru s převodovkou a bez převodovky .....	45
obrázek 9.4 - ozubená kola vně robotu .....	45
obrázek 9.5 - uložení s otočnou osou .....	46
obrázek 9.6 - uložení s pevnou osou .....	46
obrázek 9.7 - uchycení kola .....	47
obrázek 9.8 - 1) kostka; 2) pero; 3) matice; 4) podložka .....	47
obrázek 9.9 - kostka pro uložení kol .....	47
obrázek 9.10 - hliníkové plechy na plášti .....	48
obrázek 9.11 - hliníkové plechy s elektronikou uvnitř .....	48

obrázek 9.12 - nýtovací matice v rámu .....	48
obrázek 9.13 - matice v bočních pleších .....	48
obrázek 9.14 - řez zajištění zámku.....	49
obrázek 9.15 - řez nýtovací maticí v rámu.....	49
obrázek 9.16 - použitá nýtovací matice .....	49
obrázek 9.17 - nepoužitá nýtovací matice .....	49
obrázek 9.18 - čtyřhranné zámky.....	49
obrázek 9.19 - vysekané otvory horního plechu .....	49
obrázek 9.20 - použitá část svítilny .....	50
obrázek 9.21 - LED svítilna.....	50
obrázek 9.22 - průchozí matice LED svítilny .....	50
obrázek 9.23 - napájecí konektor v zadní části .....	50
obrázek 9.24 - USB konektor v přední části .....	50
obrázek 9.28 - 1) baterie; 2) budič; 3) izolace .....	51
obrázek 9.25 - kamera a senzor teploty a vlhkosti.....	51
obrázek 9.26 - gumová průchodka.....	51
obrázek 9.27 - plechy proti přetočení .....	51
obrázek 9.29 - konečná podoba dvoukolového robotu .....	52

## **15. Seznam tabulek**

tabulka 4.1 - stupnice hodnocení .....	20
tabulka 4.2 - hlediska posuzování .....	20
tabulka 4.3 - hodnocení variant .....	21
tabulka 4.4 - určení významnosti podle trojúhelníku párů .....	21
tabulka 4.5 - hodnocení první varianty .....	23
tabulka 4.6 - hodnocení druhé varianty .....	24
tabulka 4.7 - hodnocení třetí varianty .....	24
tabulka 4.8 - hodnocení čtvrté varianty .....	25
tabulka 4.9 - výsledek analýzy .....	25
tabulka 4.10 - hodnocení variant .....	26
tabulka 4.11 - stupnice hodnocení .....	26
tabulka 4.12 - trojúhelník párů .....	27
tabulka 4.13 - druhé hodnocení třetí varianty .....	28
tabulka 4.14 - druhé hodnocení čtvrté varianty .....	28
tabulka 4.15 - vítězná varianta .....	29
tabulka 5.1 - zvolení hodnot pro výpočet .....	30
tabulka 5.2 - součinitel valivého odporu pneumatik pro různé povrchy .....	31
tabulka 5.3 - součinitel vzdušného odporu pro dopravní prostředky .....	31
tabulka 5.4 - součinitel rotujících částí .....	32

tabulka 6.1 - vyráběné výkonnosti motorů a označení použitého pro práci .....	36
---	----

## **16. Seznam grafů**

graf 4.1 - graf přímky pro váhu významnosti .....	22
graf 4.2 - graf přímky .....	27
graf 6.1 - výkonová charakteristika BLDC "hub" motorů .....	35